Grundzüge der Physik

von

Dr. Joh. Crüger.

Einunddreifsigste Auflage,

neu bearbeitet

von

Dr. Rudolf Hildebrand.

Mit einem Abschnitt über Chemie,

bearbeitet von

Dr. W. R. Köhler.

Ausgabe A

mit 409 Abbildungen und einem farbigen Spektrum.



Leipzig,
C. F. Amelangs Verlag.
1906.

Piererscho Hofbuchdruckerei Stephan Geibel & Co. in Altenburg.

Aus dem Vorwort zur 29. Auflage.

„In dem vorliegenden Leitfaden hat aus dem weiten Gebiete der Physik dasjenige Aufnahme gefunden, was für das Leben von Bedeutung und Wert ist, wogegen alles fast nicht berücksichtigt ist, was vorzugsweise wissenschaftlichen Theorieen dient. Durchweg bilden Versuche die Ausgangspunkte und treten samt den zu ihrer Anstellung nötigen Apparaten in den Vordergrund. Von den Versuchen führt ein einfaches induktives Verfahren zur Aufstellung der Gesetze. Verwertung finden diese als Erklärungsprinzip für häufig vorkommende Werkzeuge und Erscheinungen. Die Gesetze aus der Hypothese wissenschaftlich abzuleiten, bleibt Aufgabe einer höheren Lehrstufe; gleichwohl sind die wichtigsten Hypothesen kurz angedeutet und in historischer Weise berührt worden, weil die Zahl derer nicht gering sein möchte, die mit diesem Kursus ihre Bildung abschliefsen und sich dennoch gedrungen fühlen, in ein Feld einzudringen, das ihnen nur auf geschichtlichem Wege zugänglich sein dürfte. Derselbe Grund hat dazu geführt, zum Schlufs Andeutungen über die Einheit in der Mannigfaltigkeit der Naturerscheinungen zu geben. Der Abschnitt von den chemischen Erscheinungen bietet meistens nur eine Zusammenstellung der beim Unterricht gewonnenen Resultate.“

Diese Worte, welche Dr. *Johannes Crüger* seinen „Grundzügen“ voranzustellen pflegte, sollen und können auch dieser Neuauflage vorausgeschickt werden.

Wenn sich die *Neubearbeitung* also *bezüglich der pädagogischen Darbietung des Lehrstoffes* durchaus *in den Bahnen der altbewährten Crügerschen Methode* bewegt, so *unterscheidet* sie sich doch dadurch von den früheren Auflagen, dafs eine *Erweiterung, Vervollständigung* und *tiefere, schärfere Erfassung* des dargebotenen Unterrichtsstoffes erstrebt worden ist. Die äufsere Anordnung des Lehrstoffes ist im grofsen und ganzen die in den früheren Auflagen herkömmliche geblieben, nur der Abschnitt über Chemie befindet sich jetzt am Schlusse des Buches. Im einzelnen ist dann eine andere Reihenfolge in der Behandlung der Gegenstände eingetreten, wenn es sich darum handelte, die zu erklärenden Erscheinungen eingehender zu begründen; in der Wärmelehre wurden die *Witterungserscheinungen* zu einem besonderen Abschnitt zusammengefafst. Diese mit A bezeichnete Ausgabe unterscheidet sich von der B-Ausgabe

hauptsächlich durch den Verzicht auf mathematische Formeln und Beweise, sowie dadurch, dafs sie einen Abschnitt über Chemie enthält. Auch bei der Bearbeitung des chemischen Teils ist auf die neuesten Fortschritte der Chemie, soweit sie von allgemeinem Interesse sind, sowie auf die Bedeutung der Chemie im Haushalte Rücksicht genommen worden. Die chemischen Prozesse sind fast durchweg durch die entsprechenden chemischen Formeln erläutert worden, doch sind diese in der Regel in Klammern hinzugefügt, um denjenigen Rechnung zu tragen, die im Unterricht von der chemischen Zeichensprache keinen Gebrauch machen. Der A-Ausgabe sind, ebenso wie der Ausgabe B, die freundlichen Ratschläge und Wünsche zugute gekommen, welche von den Herren Oberlehrern Gronenberg in Osnabrück, Maiwald in Königsberg (Neumark), Pfefferkorn in Genthin und Richter in Oberglogau gütigst mitgeteilt worden waren.

Leipzig, September 1903.

Oberlehrer Dr. Rud. Hildebrand.
Oberlehrer Dr. W. R. Köhler.

Vorwort zur 31. Auflage.

Die vorliegende 31. Auflage (die zweite der A-Ausgabe) hat sowohl Verbesserungen sachlicher als auch methodischer Art erfahren. Sachliche Verbesserungen finden sich an vielen Stellen, besonders aber in der Wärmelehre, wo die Paragraphen über die Dampfmaschine eine ganz neue Darstellung erfahren haben. Wenn es auch unzweifelhaft richtig ist, dafs sich der Physikunterricht in der Schule in der Hauptsache nur mit dem Grundsätzlichen in der Anwendung der Naturkräfte zu befassen hat, so läfst sich das recht wohl mit der Forderung vereinen, als Anwendungen nicht längst veraltete Einrichtungen vorzuführen, es sei denn, dafs diesen eine wichtige entwickelungsgeschichtliche Bedeutung innewohnt. Unter diesem Gesichtspunkte hielt es der Herausgeber für richtig, neben der einfachen Schiebersteuerung auch eine moderne Dampfmaschine mit Grund- und Expansionsschieber zur Darstellung zu bringen, wodurch ein einigermafsen zutreffender Einblick in das Wesen der Anwendung der Dampfkraft in der Gegenwart gewonnen werden kann. Der Mechanismus ist gewifs nicht schwerer zu verstehen als etwa jener der alten Wattschen Niederdruckmaschine. Im übrigen wird sich ja jeder besonnene Lehrer das Recht vorbehalten, den Grad des Eingehens auf Einzelheiten von Fall zu Fall zu bestimmen. Die methodischen Änderungen gehen hauptsächlich auf den Ausbau eines überzeugenden induktiven Verfahrens aus und finden sich hauptsächlich bei den Gesetzen über den freien Fall und in der

Optik. In der Elektrizitätslehre wurde die Unterscheidung zwischen „Elektrizitätsgrad“ und „Spannung“ durchgeführt.

Im chemischen Teile sind wesentliche Änderungen nicht vorgenommen worden.

Vielfach wurden neue Bilder eingefügt, sowie alte durch bessere ersetzt. Die lehrreichen Bilder des Dampfkessels (Fig. 360), der Dampfmaschine (Fig. 363, 364) und der Lokomotive (Fig. 366, 367) sind Originalarbeiten des Herrn Professor F. Tetzner von der Königl. Maschinenbauschule in Dortmund, dem für die Hingebung, mit der er seine Kräfte in den Dienst der Schule gestellt hat, besonderer Dank gebührt. Die schönen Wolkenbilder auf Seite 237 und die wohlgelungene Blitzphotographie auf Seite 27 sind dem rühmlichst bekannten Lehrbuche der Meteorologie von Julius Hann mit besonderer gütiger Erlaubnis des Herrn Verfassers, Professor Dr. Hann in Wien, und der Leipziger Verlagsfirma Chr. Herm. Tauchnitz entnommen; der herzlichste Dank für diese freundliche Erlaubnis sei auch hier ausgesprochen. Ein kurzer geschichtlicher Überblick und ein Register wurden beigefügt. So möge sich das Buch auch in dieser Gestalt die Freunde erhalten und neue gewinnen.

Die Verlagshandlung liefert den Herren Fachlehrern an solchen Anstalten, in denen das vorliegende Buch eingeführt ist oder die es behufs Einführung kennen lernen möchten, gern unentgeltlich ein Handexemplar der neuesten Auflage und bittet, sich zur Erlangung desselben unmittelbar an C. F. Amelangs Verlag in Leipzig wenden zu wollen.

Leipzig und Breslau, Januar 1906.

Die Herausgeber.

Sämtliche Temperaturangaben sind nach dem hundertteiligen Thermometer gemacht. Wie bisher, sind folgende Abkürzungen gebraucht:

kg	bedeutet	„Kilogramm“.	cm	bedeutet	„Centimeter“.
g	„	„Gramm“.	mm	„	„Millimeter“.
m	„	„Meter“.	m-kg	„	„Meter-Kilogramm“.

Wo Meilen vorkommen, sind geographische Meilen zu 7420 Metern gemeint.

Inhalt.

Erste Abteilung.

Magnetische und elektrische Erscheinungen.

I. Magnetische Erscheinungen.

II. Elektrische Erscheinungen.

1. Erscheinungen der Reibungselektrizität.

2. Die elektrischen Ströme.

A. Die Entstehung der elektrischen Ströme durch chemische Vorgänge.

B. Wirkungen des elektrischen Stromes.

a) Wirkungen innerhalb des Stromkreises.

b) Wirkungen aufserhalb des Stromleiters.

IV. Magnetische Wirkungen des elektrischen Stromes.

Zweite Abteilung.

Die allgemeinen Eigenschaften der Körper und die Wirkungen der Schwerkraft.

Dritte Abteilung.

Erscheinungen des Schalles, des Lichtes und der Wärme.

I. Erscheinungen des Schalles.

II. Erscheinungen des Lichtes.

D. Wärmeerscheinungen im Luftmeer der Erde. (Meteorologie.)

1. Die Wärme auf der Erdoberfläche.

2. Strömungen im Luftmeere der Erde.

3. Luftfeuchtigkeit, Wolken und Niederschläge.

Vierte Abteilung.

Chemische Erscheinungen.

Aus der organischen Chemie.

Schlufs.

Erste Abteilung.

Magnetische und elektrische Erscheinungen.

I. Magnetische Erscheinungen.

§ 1. Natürliche und künstliche Magnete.

Aus den Eisengruben der Halbinsel Magnesia in Thessalien erhielten die Alten schwarze Steine, welche die merkwürdige Kraft besafsen, **Eisenstücke anzuziehen,** und nach ihrem Fundorte Magnetsteine oder Magnete genannt wurden. Heute werden Magnetsteine (Magneteisenstein) namentlich in Schweden und im Ural gefunden; man nennt sie natürliche Magnete*). Ein Stahlstab, in dem die magnetische Kraft künstlich erregt worden ist, heifst ein künstlicher Magnet.

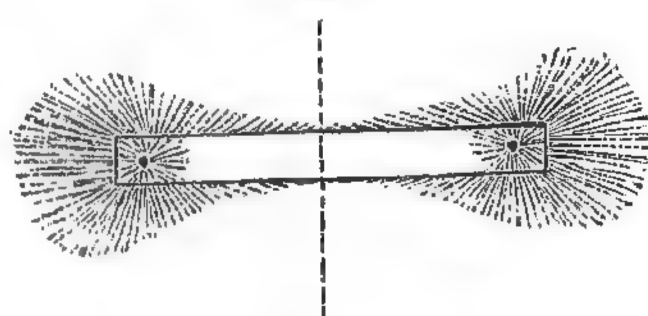
§ 2. Die magnetische Anziehung.

1. Ein Stückchen Eisendraht, das an einem Faden hängt, wird von einem ihm genäherten Magnet angezogen; Eisenfeilspäne bewegen sich zu ihm hin und haften an ihm mit merklicher Kraft; auf andere Körper dagegen, z. B. Holz, Glas, Kupfer, wirkt die Anziehungskraft des Magnets nicht (§ 39, 1 Anm.). Wird ein Magnet an einem Faden lotrecht aufgehängt und ihm ein eiserner Schlüssel genähert, so bewegt sich der Magnet gegen den Schlüssel hin; ein kleiner Magnet bleibt an einem Eisenstück hängen. So ergibt sich das Gesetz:

Ein Magnet und unmagnetisches Eisen ziehen sich gegenseitig an.

2. Ein Stückchen Eisen wird von einem Magnet auch angezogen, wenn man zwischen beide ein Blatt Papier bringt; ein eiserner Ring wird von einem hinter einer Tapete oder Pappscheibe verborgenen Magnet festgehalten; eine Nähnadel auf einer Glasscheibe folgt der Bewegung eines dicht darunter hin und her geschobenen Magnets. **Die Anziehungskraft des Magnets wirkt durch andere Körper hindurch.** Der Raum, innerhalb dessen ein Magnet sich wirksam zeigt, heifst ein **magnetisches Feld.**

Fig. 1.



*) Im Mittelalter schrieb man diesen Steinen wunderbare Heilkräfte zu und erzählte sich die Fabeln von dem Magnetberge im Norden, der schon in weiter Entfernung alles Eisen aus den sich nähernden Schiffen an sich ziehen sollte, und von dem eisernen Sarge Mohammeds, der in Medina zwischen zwei gewaltigen Magneten frei in der Luft schwebend gehalten werde. Erst wenige Jahrhunderte vor Kolumbus ward man im Abendlande mit der **Magnetnadel** bekannt, während die Chinesen sie längst (1000 Jahre v. Chr.), gekannt, aber seltener zur See, häufiger zu Lande, auf ihren grofsen Reisen durch die Steppen Hochasiens als Wegweiser gebraucht hatten. Genauer erforschte die durch Magnete hervorgebrachten Wirkungen um das Jahr 1600 zuerst Gilbert, der Leibarzt der Königin Elisabeth von England, dem auch die Bereitung künstlicher Magnete wohlbekannt war. In neuerer Zeit hat besonders Alexander von Humboldt dahin gewirkt, dafs an den verschiedensten Orten der Erde täglich Beobachtungen über den Erdmagnetismus angestellt werden.

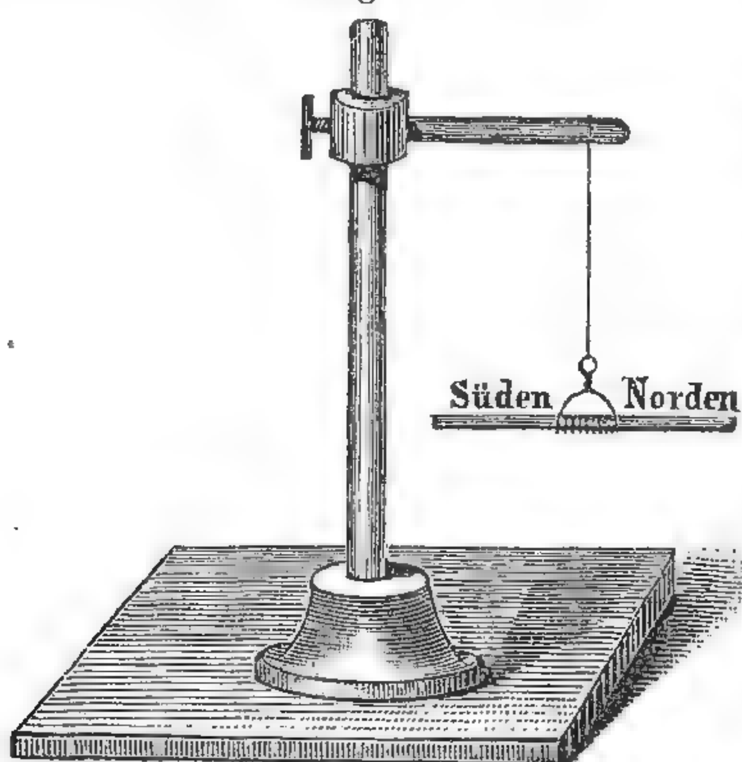
3. Nähert man nacheinander verschiedene Stellen eines Magnets einem hängenden Eisendraht, so wird dieser von der Mitte des Magnets gar nicht, von zwei Stellen, nahe seinen beiden Enden, am stärksten angezogen. Wird ein Magnet in Eisenfeilspäne gelegt, so haften viele an denselben Stellen (Fig. 1). Ein Eisenstück von solchem Gewicht, dafs es von einem Ende eines Magnets gerade getragen wird, wird von keiner anderen Stelle desselben gehalten.

Am stärksten ist die Anziehungskraft eines Magnets an zwei Stellen desselben, welche nahe seinen beiden Enden liegen. Diese beiden Stellen eines Magnets heifsen seine Pole. Eine gerade Linie von dem einen Pol eines Magnetstabes zu dem anderen wird die Achse des Magnets genannt. Die Stelle eines Magnets, welche keine Anziehung zeigt, heifst die Indifferenzstelle desselben.

§ 3. Die Richtungsfähigkeit eines Magnets. Benennung der Pole.

Wird ein Magnet so aufgehängt, dafs er wagerecht schwebt und sich nach der rechten und linken Seite frei bewegen kann, so nimmt er eine bestimmte Stellung ein und kehrt, wenn er aus dieser Stellung gebracht ist, in dieselbe zurück (Fig. 2). **Ein frei beweglicher Magnet richtet sich so, dafs der eine Pol ungefähr nach Norden, der andere ungefähr nach Süden weist.** Die Achse eines frei beweglichen Magnets gibt im ganzen die Richtung von Süden nach Norden an. **Wegen der Richtungsfähigkeit des Magnets führt der nach Norden weisende Pol den Namen Nordpol, der andere den Namen Südpol.** — Die beiden Haupterscheinungen an einem Magnet sind daher die, dafs er Eisen anzieht, und dafs er, wenn er sich frei bewegen kann, ungefähr die Richtung von Süden nach Norden annimmt.

Fig. 2.



§ 4. Gegenseitiges Verhalten der Pole zweier Magnete.

1. **Grundgesetz der Anziehung und Abstofsung.** Bringt man dem Nordpol eines frei beweglich aufgehängten Magnets den Südpol eines zweiten Magnets nahe, so zeigt sich zwischen beiden eine Anziehung; ebenso wird der Südpol des beweglichen Magnets von dem Nordpol des anderen angezogen. Dagegen wird der Nordpol des hängenden Magnets von jedem anderen magnetischen Nordpol abgestofsen; ebenso Südpol von Südpol. Nordpol und Südpol ziehen sich gegenseitig an; abgestofsen aber wird Nordpol von Nordpol, und Südpol von Südpol. Zwei Nordpole sind gleichnamige Pole, ebenso zwei Südpole; ein Nordpol aber und ein Südpol sind ungleichnamige Pole. Daher ergibt sich das Gesetz:

Gleichnamige Pole zweier Magnete stofsen einander ab, ungleichnamige ziehen sich an.

Den im Nordpol eines Magnets wirksamen Magnetismus nennt man **Nordmagnetismus**, den Magnetismus im Südpol **Südmagnetismus.** Da diese beiden Magnetismen aufeinander entgegengesetzte Wirkungen hervorbringen, so nennt man sie entgegengesetzte Magnetismen.

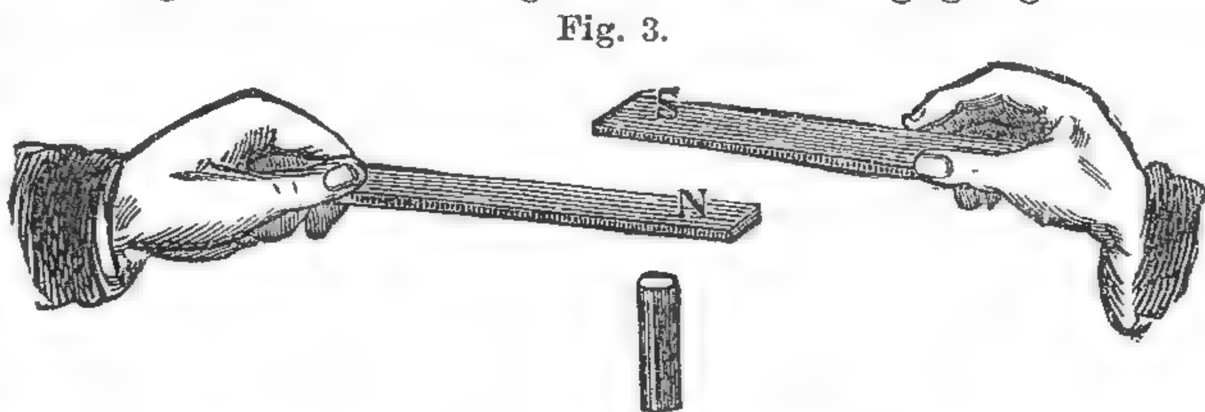
2. **Anwendungen.** Die magnetische Abstofsung ist ein Mittel zur Bestimmung des Nordpols und des Südpols eines Magnets. Der Nordpol liegt an dem Ende, welches den Nordpol eines hängenden Magneten abstöfst. Warum eignet sich die magnetische Anziehung nicht zu dieser Be-

stimmung? Hierauf beruhen die magnetischen Spielwerke, magnetische Schwäne oder Fische, die einen kleinen Magnet im Munde tragen und durch eine magnetische Angel angezogen oder abgestofsen werden.

3. **Gegenseitige Bindung entgegengesetzter Magnetismen.** a) Wenn von zwei gleich starken Magneten der eine mit seinem Nordpol ein Eisenstück trägt, so schwer es von ihm getragen werden kann, so läfst er dasselbe los, wenn der Südpol des anderen Magnets in seine Nähe gebracht wird (Fig. 3). Zwei mit den ungleichnamigen Polen aufeinandergelegte Magnete von gleicher Stärke können nichts tragen. Der eine Magnetpol hebt die Wirkungen des anderen auf.

b) Legt man zwei gleiche und gleich starke Magnetstäbe mit entgegengesetzten Polen aneinander, und bestreut man die Umgebung mit Eisenfeilspänen, so erweist sich die Stelle, an der Nord- und Südpol zusammenstofsen, als Indifferenzstelle, denn die Eisenfeilspäne bleiben nur an den beiden äufseren Enden der Stäbe haften. Die beiden Stäbe erscheinen wie ein einziger Magnet. Die Magnetismen der aneinanderstofsenden Pole binden sich gegenseitig, so dafs sie nach aufsen keine Wirkung mehr zeigen. Trennt man die Stäbe wieder, so hat jeder Stab wieder seine zwei Pole.

Fig. 3.

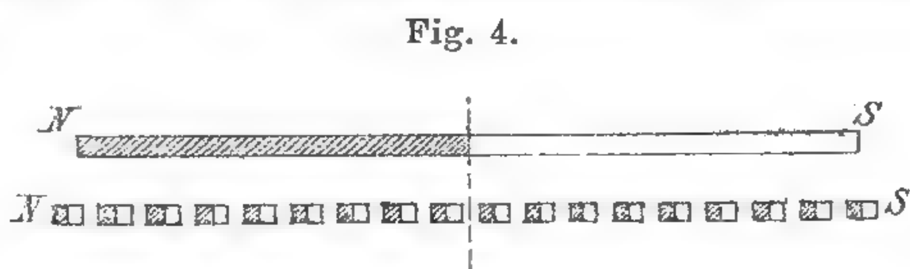


Gesetz: **Vereinigt, heben gleich starke, ungleichnamige Magnetpole ihre Wirkung nach aufsen gegenseitig auf.**

§ 5. Der innere Bau eines Magnets.

1. **Versuch.** Zerbricht man eine magnetisch gemachte Stricknadel, etwa in der Mitte, so vermag, aufser den ursprünglichen Polen, nun auch jede Bruchstelle Eisenfeilspäne anzuziehen. Es sind also an den Bruchstellen zwei neue Pole entstanden, und zwar erweist sich die Bruchstelle der Nordhälfte als ein Südpol, die der Südhälfte als ein Nordpol. Jeder Teil der zerbrochenen Nadel ist daher wieder ein vollständiger Magnet. Auch bei weiterer Teilung zeigt sich jedes noch so kleine Bruchstück als vollständiger Magnet; es ist unmöglich, einen Magnet mit nur einem Pole zu erhalten. Beachtet man die Lage der Pole, so sind alle Nordpole der Bruchstücke nach dem ursprünglichen Nordpol, alle Südpole nach dem ursprünglichen Südpol der magnetisierten Nadel gerichtet (Fig. 4), so dafs die einzelnen Bruchstücke mit ungleichnamigen Polen aneinanderstofsen.

Fig. 4.



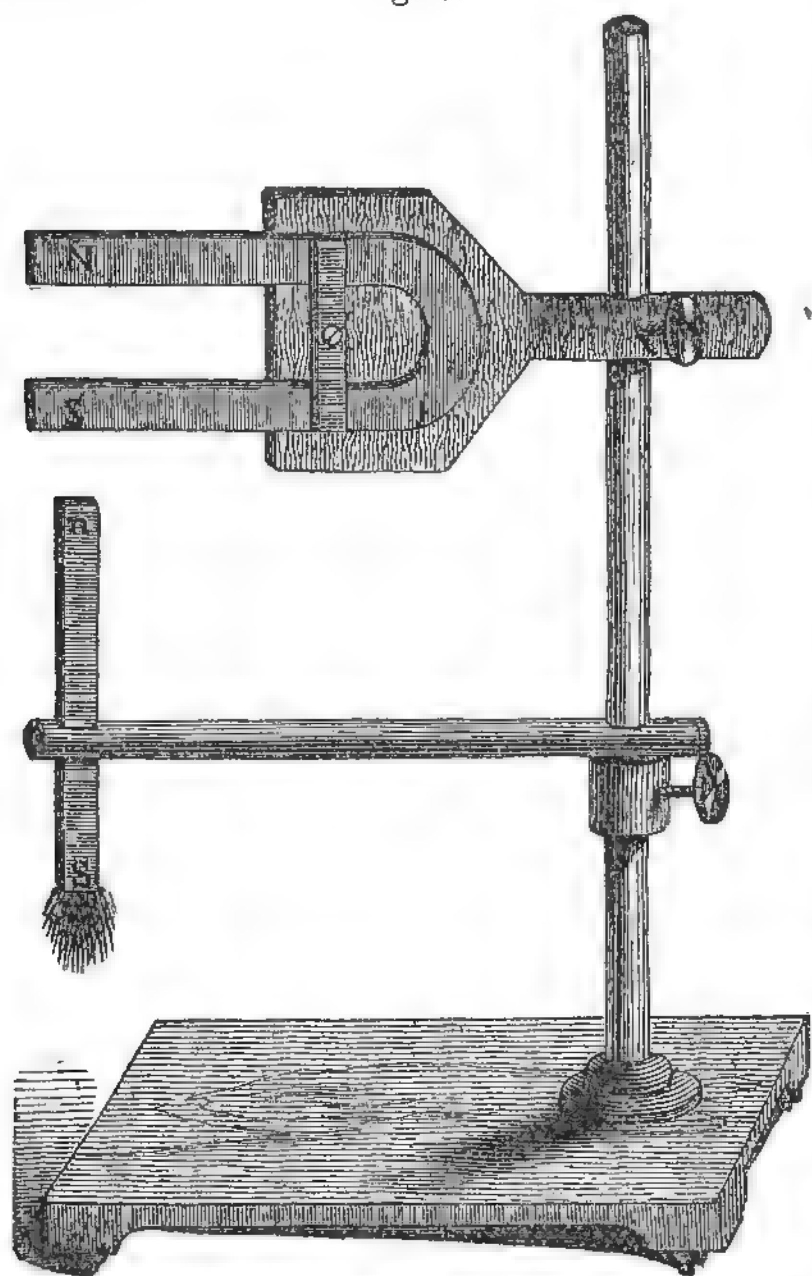
2. **Elementarmagnete.** Denkt man sich das Zerbrechen der Stricknadel bis zu den kleinsten Teilchen (den sogenannten Molekülen) fortgesetzt, so kommt man zu der naheliegenden **Annahme** oder **Hypothese:** Jeder Magnet besteht aus einer sehr grofsen Zahl ganz kleiner Magnete, sogenannter Elementarmagnete (Molekularmagnete), welche die Nordpole nach der einen, die Südpole nach der anderen Seite richten. Die innerhalb eines Magnetstabes einander gegenüberliegenden Pole der Elementarmagnete sind ungleichnamig magnetisch und heben gegenseitig ihre Wirkung nach aufsen auf (siehe § 4, 3, b). Insbesondere kann in der Mitte des Magnetstabes, der Indifferenzstelle, kein freier Magnetismus vorhanden sein, weil auf beiden Seiten gleichviel Nord- und Südpole

aus gleichen Entfernungen wirken, so daſs sich ihre Magnetismen gegenseitig aufheben. An den Enden des Magnetstabes sind aber freie Pole der Elementarmagnete da, deren Wirkung nach auſsen nicht durch entgegengesetzte Pole aufgehoben wird. Daher zeigt sich der Magnetstab im wesentlichen nur an den Enden magnetisch.

§ 6. Die magnetische Verteilung.

1. Ein Stab aus weichem Eisen (Gegensatz zu Stahl) zieht, wenn einem Ende desselben ein Magnetpol nahe ist, Eisenfeilspäne an, zeigt überhaupt magnetische Eigenschaften (Fig. 5); entfernt man den Magnet, so ist das Eisen wieder unmagnetisch. Hängt man an den Südpol eines Magnets einen Eisenstab, so hat er an dem vom Magnet entfernten Ende einen Südpol; denn der Südpol eines hängenden Magnets wird von ihm abgestoſsen. Dagegen wird das andere Ende des Eisenstabes, welches den Südpol des Magnetes berührt, ein Nordpol; denn wenn man es vom Magnet abnimmt und schnell dem Nordpol eines hängenden Magnets nähert, so tritt Abstoſsung ein. Eine Nadel aus Stahl oder gehärtetem Eisen bleibt auch nach der Entfernung des Magnets magnetisch und hat gleichfalls oben, wo sie den Südpol berührte, einen Nordpol, an dem anderen Ende einen Südpol. **In Eisen wird durch die Nähe eines Magnetpols Magnetismus erregt. Die Erregung von Magnetismus durch die Nähe eines Magnets heiſst die magnetische Verteilung oder magnetische Influenz.** Der Südpol des Magnets ruft in der ihm nahen Hälfte des Eisens Nordmagnetismus hervor und in der anderen Südmagnetismus. Gesetz der magnetischen Verteilung:

Fig. 5.



Jeder Magnetpol erzeugt in der ihm nahen Hälfte eines Eisenstabes einen ungleichnamigen Magnetpol, in der anderen Hälfte einen gleichnamigen Magnetpol.

2. Dem Eisen wird von einem nahen Magnet keineswegs Magnetismus durch Übertragung mitgeteilt; denn erstens ist das weiche Eisen nach Entfernung des Magnets unmagnetisch; zweitens lassen sich Eisenstücke beliebig oft an die Pole bringen, ohne daſs diese an Kraft verlieren, was der Fall sein müſste, wenn sie von ihrer Kraft etwas mitteilten; drittens könnte das Eisen von einem Südpol nur Südmagnetismus, aber nicht beide Magnetismen mitgeteilt erhalten; endlich wird gerade in demjenigen Ende des Eisens, das den Südpol berührt, Nordmagnetismus hervorgerufen. Sind aber dem Eisen die Magnetismen, die es in der Nähe eines Magnets zeigt, nicht mitgeteilt worden, so folgt über das ursprüngliche Vorhandensein von Magnetismus im Eisen das Gesetz:

In allem Eisen sind von Natur beide Magnetismen vorhanden.

Nach der im § 5, 2 erläuterten Annahme besteht ein Magnet aus lauter Elementarmagneten, d. h. kleinsten Eisenteilchen, die Nordpol und Südpol besitzen, und deren gleichartige Pole nach gleichen Seiten gerichtet sind. Macht man die weitere **Annahme** oder **Hypothese**, jedes kleinste Eisen- oder Stahlteilchen sei von Natur ein Elementarmagnet mit Nordpol und Südpol, so

wird Eisen oder Stahl so lange unmagnetisch sein, als die Elementarmagnete wirr durcheinanderliegen, weil dann im allgemeinen nach allen Seiten gleichviel entgegengesetzte Pole gerichtet sind, deren Wirkungen sich gegenseitig aufheben (Fig. 6). Kommt aber ein Magnetpol in die Nähe eines unmagnetischen Stückes Eisen, so richten sich alle ungleichnamigen Pole der Elementarmagnete, die man sich also nicht völlig festliegend zu denken hat, ähnlich einer drehbaren

Fig. 6.

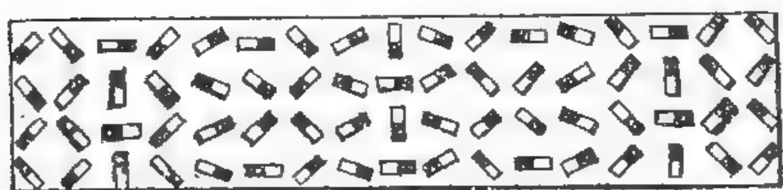
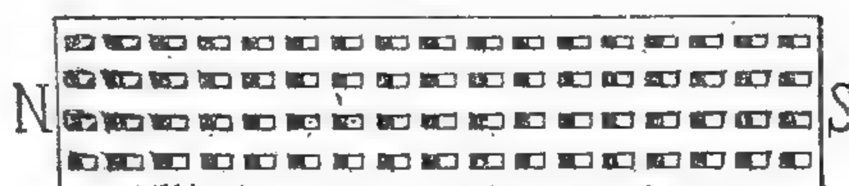


Fig. 7.



Magnetnadel, nach dem herangebrachten Magnetpole hin (Fig. 7), und es müssen an den entgegengesetzten Enden des Eisenstückes freie Magnetpole entstehen. Als Folgerung obiger Hypothese ergibt sich: Das Magnetisieren besteht in einer Drehung der Eisenteilchen oder Elementarmagnete nach derselben Richtung. Ein Eisenstab ist danach mit Magnetismus gesättigt, wenn alle Elementarmagnete gleich gerichtet sind; er ist ungesättigt, wenn dies nicht der Fall ist.

3. Kommt dem Südpol eines Stahlmagnets ein Eisenstück nahe, so geht in diesem eine Verteilung vor, indem sich die Nordpole der Elementarmagnete dem Südpol des Magnets zuwenden. Hierdurch wird das Eisenstück selbst zu einem Magnet, dessen Nordpol dem Südpol des Stahlmagnets zugewendet ist. Die beiden ungleichnamigen Pole ziehen dann einander an; das Eisen wird vorübergehend magnetisch, ehe es angezogen wird. Daher gibt es keine andere magnetische Anziehung als zwischen entgegengesetzten Magnetpolen.

§ 7. Künstliche Magnete.

1. **Das Magnetisieren des Stahls** beruht, wie das Magnetisieren des Eisens, auf der Drehung der Stahlmoleküle oder Elementarmagnete nach der gleichen Richtung. Stahl bleibt, wenn er der magnetischen Verteilung ausgesetzt gewesen ist (nach § 6, 1), dauernd magnetisch; er setzt aber der Drehung der Elementarmagnete einen Widerstand entgegen, welcher die Koerzitivkraft des Stahls genannt wird. **Stahl läfst sich durch Streichen mit einem Magnet dauernd magnetisch machen.**

Fig. 8.

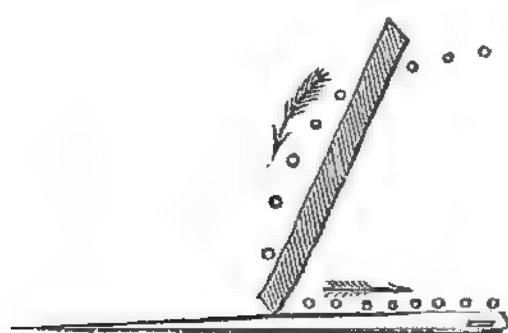
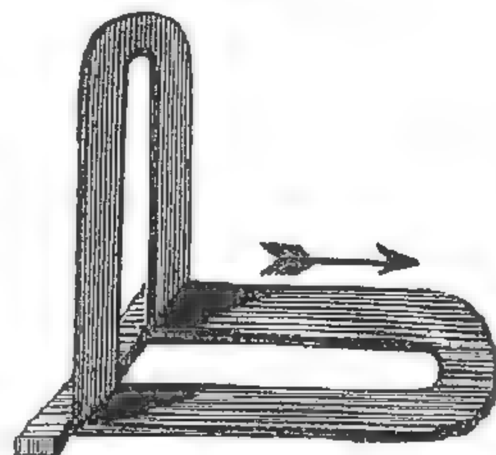


Fig. 9.



Beim **einfachen Strich** (Fig. 8) streicht man den Stahlstab jedesmal nur mit einem Magnetpol, setzt diesen auf die Mitte des Stabes auf, streicht seine rechte Hälfte entlang, führt den Magnet nach rechts über das Ende des Stabes hinaus und bringt denselben Pol in weitem Bogen zurück auf die Mitte des Stabes. Dies Verfahren wird dreifsigmal wiederholt und dann die linke Hälfte des Stahlstabes mit dem anderen Magnetpol ebenso und ebenso oft gestrichen. Darauf wird die untere Seite des Stabes nach oben gekehrt und gleichermafsen gestrichen. Beim **Doppelstrich** setzt man beide Pole eines hufeisenförmigen Magnets auf die Mitte des Stahlstabes, streicht mit beiden Polen zugleich so, dafs der eine Pol vor dem

anderen hergeht, bis an sein eines Ende und, ohne den Magnet aufzuheben, zurück bis an sein anderes Ende; nach zwanzigmaligem Streichen von dem einen bis zum anderen Ende wird der Magnet von der Mitte des Stabes aufgehoben; die untere Seite des Stabes wird ebenso behandelt. Zum Magnetisieren hufeisenförmiger Stahlstäbe (Fig. 9) wird eine besondere Art des Doppelstrichs angewandt. Man legt vor die Enden des Stabes ein Stück weichen Eisens, setzt dann die beiden Pole eines Hufeisenmagnets, welcher mit dem Stahlstab gleiche Breite hat, lotrecht auf beide Enden desselben und streicht langsam bis über die Krümmung des Stabes hinaus. Dann führt man den Magnet in einem grofsen Bogen wieder zu den Enden des Stabes zurück und streicht so zehnmal von den Enden über die Krümmung hinaus. Beim Umlegen auf die andere Seite mufs das weiche Eisenstück in unveränderter Berührung mit den Enden des Stabes bleiben.

Fig. 10.

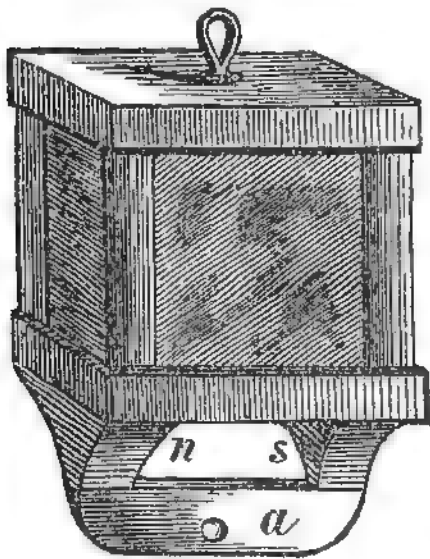
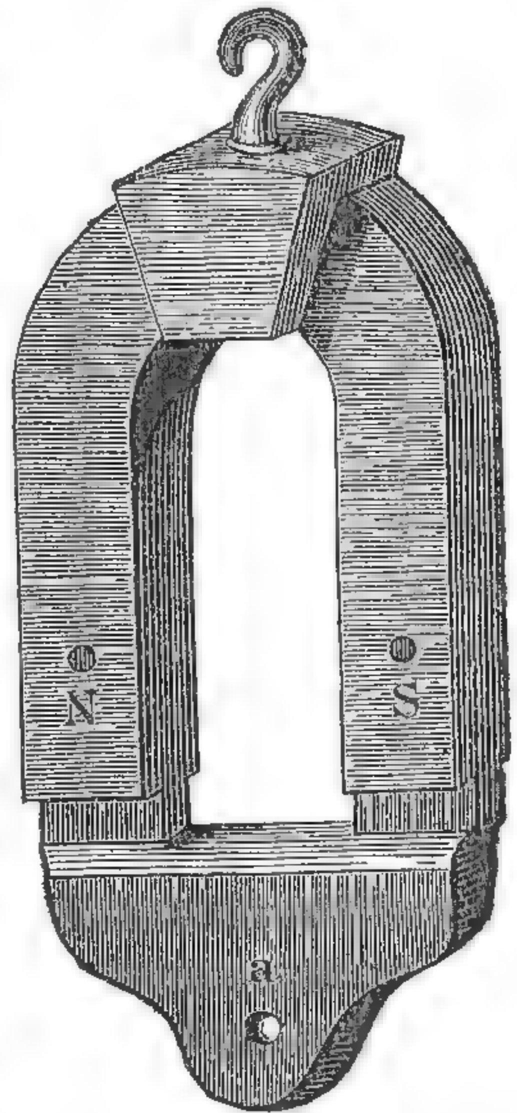


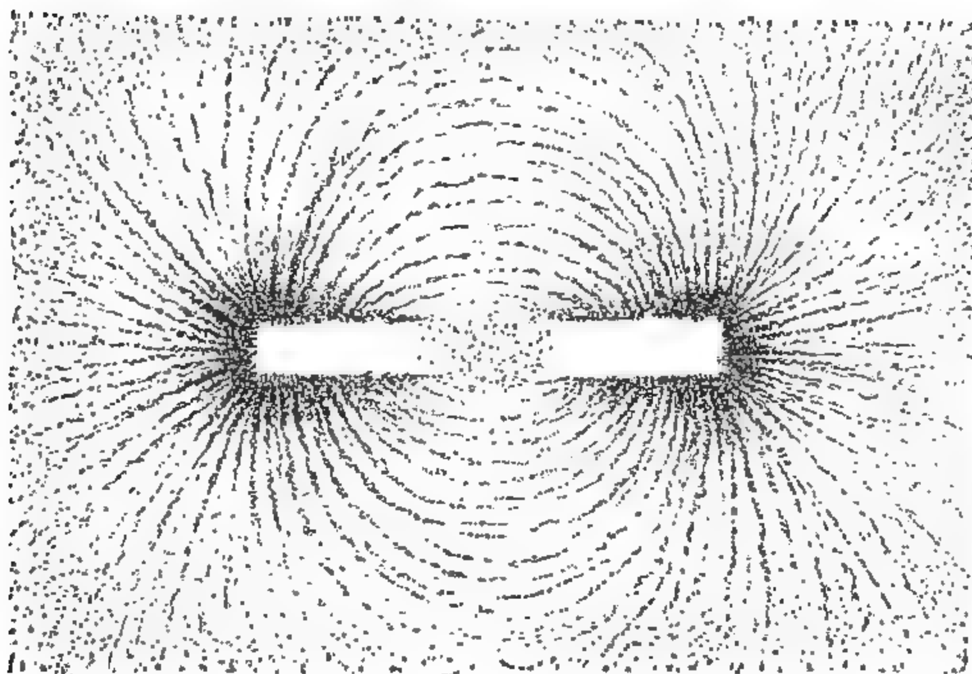
Fig. 11.



2. Erhaltung und Vermehrung der magnetischen Kraft.

Um die Elementarmagnete in ihrer Lage zu erhalten, gibt man sowohl künstlichen als auch natürlichen Magneten ein Eisenstück, den Anker, zu tragen, welcher durch Verteilung magnetisch wird und verteilend und verstärkend auf den Magnet zurückwirkt; der Anker darf nicht plötzlich von den Magnetpolen abgerissen werden. Die natürlichen Magnete versieht man mit einer Armatur, indem man an den Polen Eisenplatten befestigt; in den aus der messingenen Einfassung hervorragenden Enden oder Füfsen (*n* und *s* in Fig. 10) derselben wirkt die Kraft der Pole in vollem Mafse; an die Füfse wird der Anker *a* gelegt. Eine Zusammenstellung von mehreren, mit ihren gleichnamigen Polen aufeinandergelegten Magneten heifst ein **magnetisches Magazin** und wirkt wie ein einziger, sehr kräftiger Magnet (Fig. 11); die einzelnen Magnete eines Magazins heifsen Lamellen; ein Magazin aus sehr dünnen Lamellen wird ein Jaminscher Blättermagnet genannt.

Fig. 12.



§ 8. Magnetische Kraftlinien, magnetisches Feld.

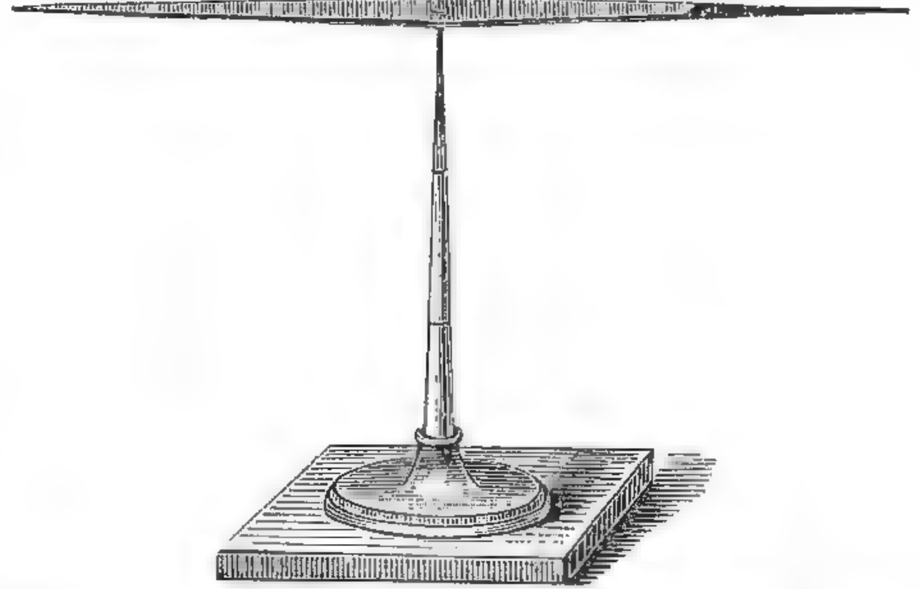
Die von den Polen ausgehenden Richtungen, in denen die magnetische Kraft wirkt, lassen sich dadurch sichtbar machen, dafs man die nächste Umgebung eines auf einem Blatt Papier liegenden Magnets mit Eisenfeilspänen bestreut. Die einzelnen Eisenfeilspäne werden durch Verteilung magnetisch und ordnen sich, indem sich die ungleichnamigen Pole aneinanderketten, in krummen Linien an, die vom Nordpole des

Magnets zum Südpole laufen und **magnetische Kraftlinien** genannt werden (Fig. 12). Der Raum aufserhalb eines Magnets, innerhalb dessen die magnetischen Kraftlinien verlaufen, ist sein magnetisches Feld. Je dichter die Kraftlinien im magnetischen Felde liegen, um so gröfser ist die magnetische Kraft. An jeder Stelle geben die Kraftlinien die Richtung der magnetischen Kraft innerhalb des magnetischen Feldes an.

§ 9. Der Erdmagnetismus.

1. **Verteilung durch den Erdmagnetismus.** Läfst man eine 1 Meter lange, wiederholt ausgeglühte, unmagnetische Eisenstange in der Nord-Südrichtung, etwa unter 60 Grad nach Norden geneigt, einige Zeit stehen, so stöfst das untere Ende der Stange den Nordpol einer wagerecht hängenden magnetisierten Nähnadel ab; von ihrem oberen Ende wird der Südpol der Nadel abgestofsen. In der Stange ist eine magnetische Verteilung vor sich gegangen, und diese ist durch die Erde, wie durch einen Magnet, bewirkt worden. **Die Erde wirkt wie ein grofser Magnet, dessen Südpol im geographischen Norden und dessen Nordpol im geographischen Süden liegt.** Daher zeigen aufrechtstehende eiserne Ofenschirme, senkrechte eiserne Teile an der Wand, Gitterstäbe usf. unten Nord-, oben Südmagnetismus.

Fig. 13.



2. **Deklination der Magnetnadel.** Die zur Auffindung der Himmelsgegenden dienende Magnetnadel (Fig. 13) ist ein dünnes, nach den Enden spitz zulaufendes Stahlblech, in dessen Mitte ein Hütchen aus Messing oder einem harten Steine eingesetzt ist, damit sie wagerecht und leicht beweglich auf einer Stahlspitze schwebt. Wird die Nadel auf die Mitte einer Windrose (Fig. 14) gesetzt, so zeigt sich, dafs sie an verschiedenen Orten der Erde um verschieden grofse Winkel von der Richtung der Mittagslinie abweicht. **Der Winkel, welcher die Abweichung der Magnetnadel von der Mittagslinie angibt, heifst die Deklination.** Die zur Bestimmung

Fig. 14.

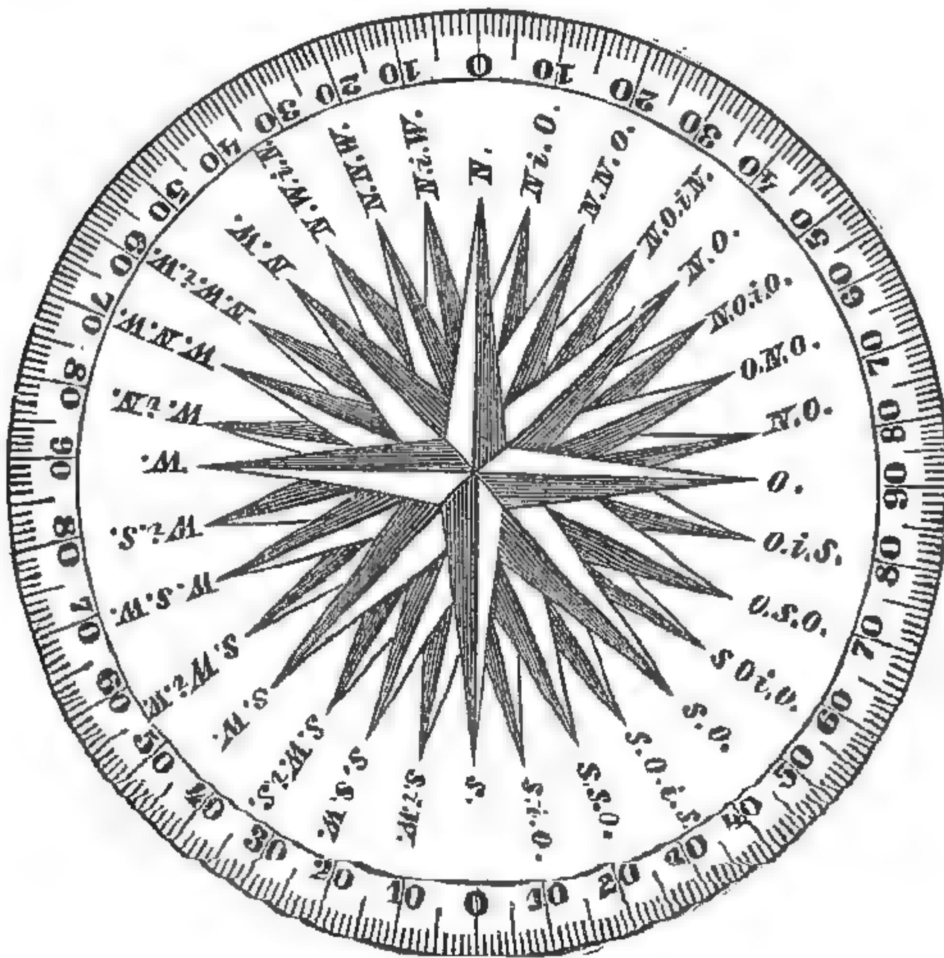
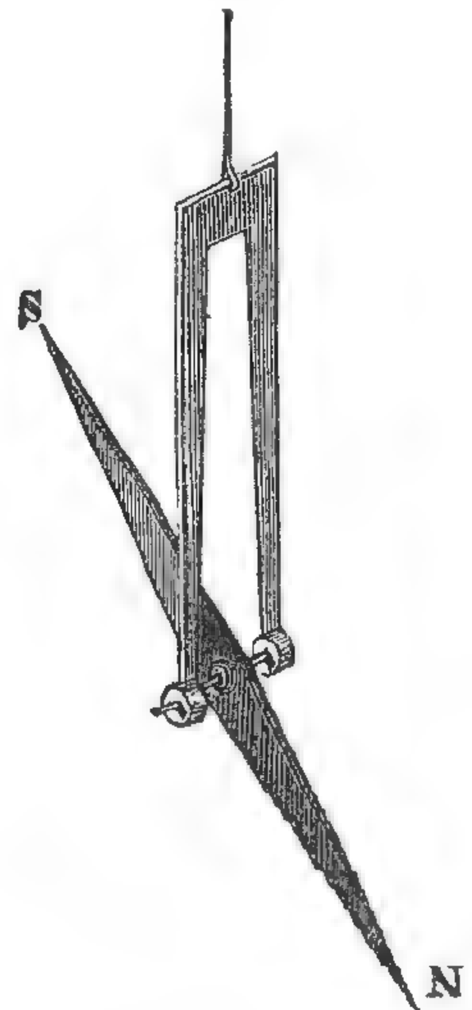


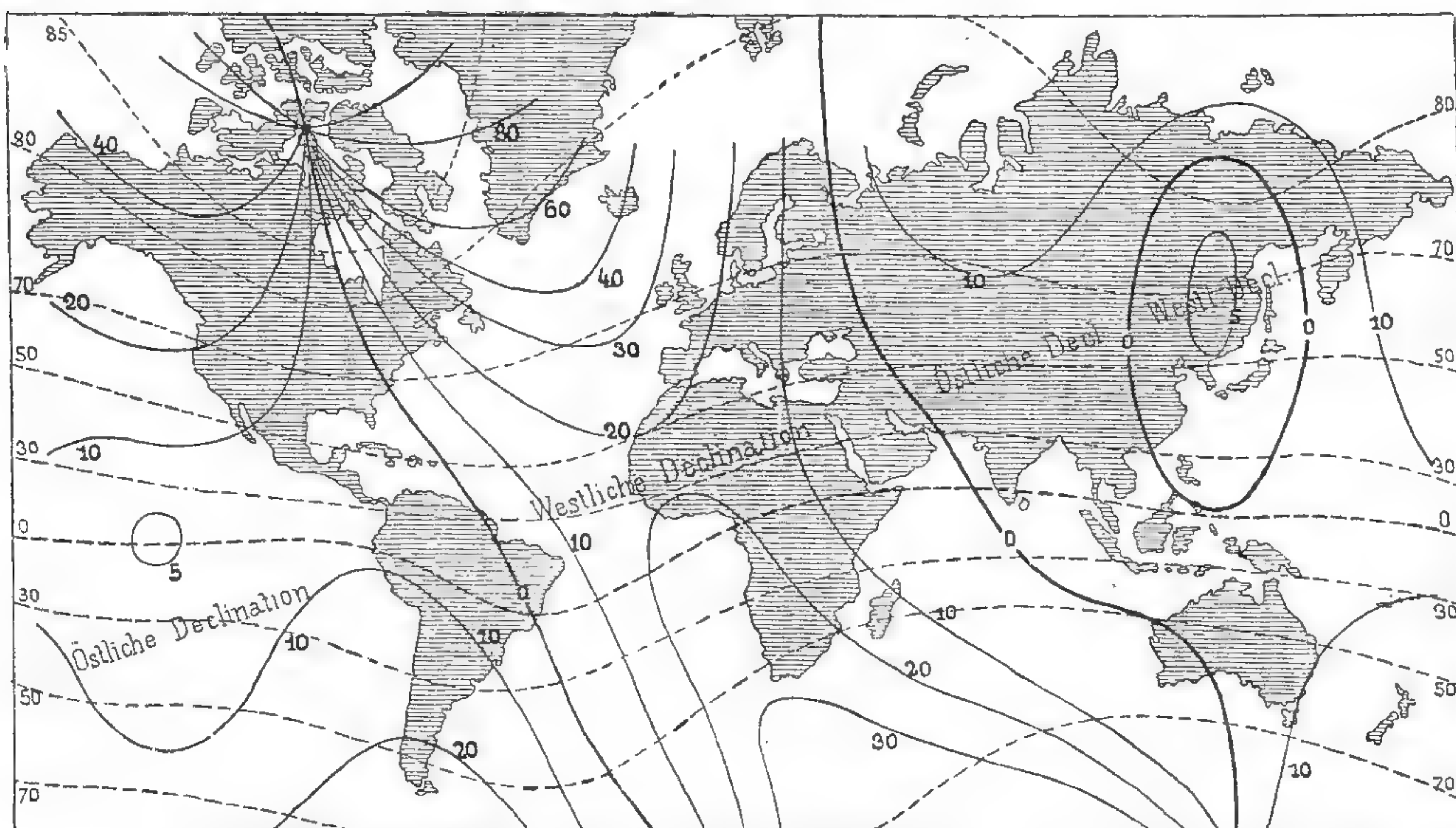
Fig. 15.



der Deklination dienende Magnetnadel heifst Deklinationsnadel. In Mitteldeutschland beträgt die Gröfse des Deklinationswinkels gegenwärtig etwas über 10 Grad und weicht nach Westen ab, wir haben westliche Deklination.

Die Deklination nach Westen beträgt in Wien 8°, in Berlin 10° (1903, 9° 43′, 8″), am Mittelrhein 11,5°, in Paris 15°. Die Linien, welche man zur Verbindung der Orte mit gleichen Deklinationswinkeln gezogen denken kann, heifsen **Isogonen** (die ausgezogenen Linien in Fig. 16). Keine Abweichung findet statt auf einer Linie, welche **die Agone** heifst und gezogen ist durch die Hudsonsbai, den östlichen Teil Nordamerikas und die Ostspitze Südamerikas, auf der östlichen Halbkugel durch Australien, Persien und das europäische Rufsland. Der Schiffer entnimmt der Seekarte mit den Isogonen den Deklinationswinkel des Schiffsortes und bestimmt den Lauf oder Kurs des Schiffes mit Hilfe des **Kompasses,** dessen Hauptbestandteile Magnetnadel und Windrose sind (Bild, siehe § 77).

Fig. 16. (Isogonen und Isoklinen.)



3. **Inklination der Magnetnadel.** Eine Magnetnadel, die sich um eine genau durch die Mitte ihrer Länge und ihrer Breite gehende wagerechte Achse drehen kann, heifst eine Inklinationsnadel (Fig. 15). Wird die Inklinationsnadel so aufgehängt, dafs sie sich in einer zur Erdoberfläche senkrechten Ebene, welche die Richtung der Deklinationsnadel hat, drehen kann, so stellt sie sich schief und weicht von der wagerechten Richtung ab. **Die Abweichung der Magnetnadel von der wagerechten Richtung heifst ihre Inklination.** Die Inklinationsnadel nimmt an zwei Stellen der Erde, den magnetischen Polen derselben, lotrechte Stellung an. Im Norden von Nordamerika auf Boothia felix ist im Jahre 1831 durch den Kapitän John Rofs der magnetische Südpol (in seiner damaligen Lage) gefunden worden; der magnetische Nordpol der Erde liegt auf dem südlichen Polarlande, weit südwärts von der Ostküste Australiens. Bei uns weicht die Inklinationsnadel um **66 Grad** von der wagerechten Richtung ab. Die Linien, welche die Orte gleicher Inklination verbinden, heifsen die **Isoklinen** (die gestrichelten Linien in Fig. 16). Die Linie mit dem Inklinationswinkel Null heifst magnetischer Äquator.

Die magnetische Deklination und Inklination sind nicht blofs zu derselben Zeit

an verschiedenen Orten verschieden, sondern ändern sich auch langsam an einem und demselben Orte. Beide sind bei uns gegenwärtig im Abnehmen begriffen.

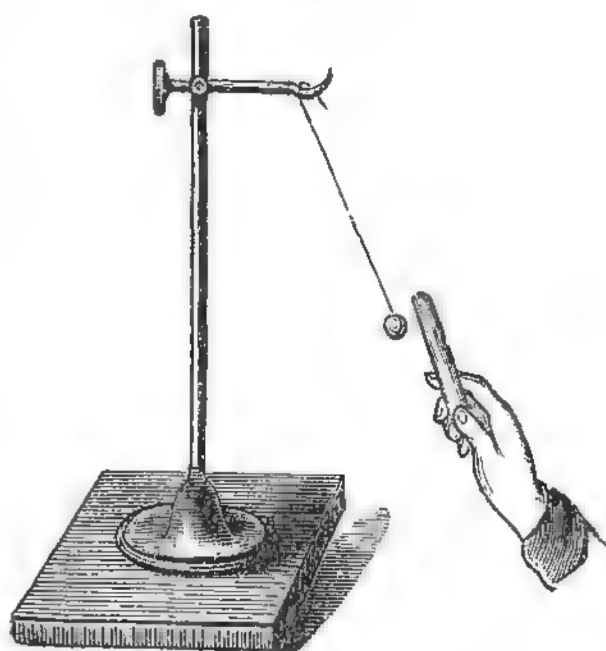
II. Elektrische Erscheinungen.

1. Erscheinungen der Reibungselektrizität.

§ 10. Elektrische Grunderscheinungen.

Schon Thales von Milet (640 vor Chr.), einer der sieben Weisen Griechenlands, wufste, dafs der Bernstein, wenn er gerieben wird, **kleine Körper anzieht.** Der Engländer Gilbert, nannte diese Anziehungskraft des geriebenen Bernsteins, weil Bernstein griechisch Elektron heifst, die **elektrische** Kraft; er fand um das Jahr 1600, dafs auch Glas, Schwefel und Harz durch Reiben elektrisch werden und leichte Körperchen aus beliebigem Stoffe anziehen, z. B. Papierstückchen, Federn, Schaumgold, an leinenen Fäden hängende Kugeln aus Pflanzenmark (Fig. 17). Wenn man einem grofsen, geriebenen Stück Bernstein oder einer geriebenen Glas- oder Siegellackstange einen Finger nähert, so erhält man knisternde **Funken. Die elektrischen Grunderscheinungen sind** daher **die Anziehung von leichten Körperchen durch einen geriebenen Körper und das Überspringen eines Funkens von demselben zu einem genäherten Finger.** Wenn ein Körper, z. B. ein mit Seidenzeug geriebener Glasstab, diese Erscheinungen oder wenigstens die erste davon hervorbringt, so zeigt sich an ihm der **elektrische Zustand,** er besitzt **Elektrizität;** man sagt, der Körper ist **elektrisch geladen** oder **elektrisiert,** was zunächst durch Reiben der Körper bewirkt wird.

Fig. 17.

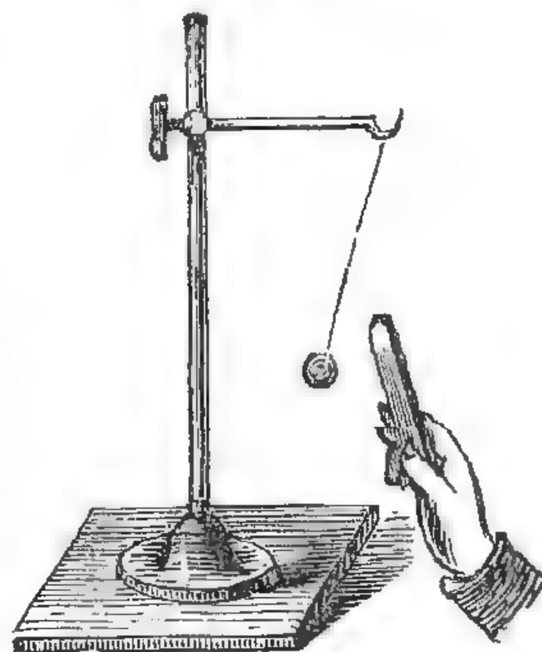


Gesetz: **Elektrizität wird durch Reiben erregt.**

§ 11. Positive und negative Elektrizität.

1. Die leichten Körperchen, Papierschnitzel, Kügelchen aus Kork oder Pflanzenmark, welche ein durch Reibung elektrisch gemachter oder elektrisierter Harz- oder Glasstab heftig anzieht, werden nach sehr kurzer Zeit von dem gleichen Stabe wieder abgestofsen. Diese Körperchen haben durch Berührung mit dem elektrisierten Stabe denselben elektrischen Zustand angenommen und werden, sobald sie diesen Zustand besitzen, abgestofsen. Hängt man ein Holundermarkkügelchen an einem seidenen Faden auf, so wird dasselbe von einem geriebenen Glasstabe zunächst angezogen (Fig. 17), aber dauernd heftig abgestofsen, sobald es durch Berührung die Elektrizität des Glasstabes selbst erhalten hat. Die gleiche Erscheinung zeigt sich, wenn ein geriebener Harzstab erst in die Nähe eines solchen noch unelektrischen Kügelchens kommt und von demselben dann berührt wird (Fig. 18). Bringt man dann den geriebenen Harzstab in die Nähe des Kügelchens, welches von dem Glasstab abgestofsen wird, so erfolgt lebhafte Anziehung; ebenso zieht der geriebene Glasstab das Kügelchen an, welches vom Harzstab abgestofsen

Fig. 18.



wird. Die Elektrizität des Glasstabes und die Elektrizität des Harzstabes oder die **Glaselektrizität** und die **Harzelektrizität** zeigen also verschiedene Eigenschaften: Die Glaselektrizität stöfst die Glaselektrizität ab, die Harzelektrizität stöfst die Harzelektrizität ab, aber Glaselektrizität und Harzelektrizität ziehen sich an. Daher mufs man die Glaselektrizität und die Harzelektrizität als verschiedene Elektrizitäten auffassen. (Entdeckt zu Paris 1733 von du Fay.) Man nennt (Franklin, 1747) die Glaselektrizität gewöhnlich **positive Elektrizität** ($+E$), die Harzelektrizität **negative Elektrizität** ($-E$); zwei Körper mit positiver Elektrizität sind gleichnamig elektrisch oder haben gleichnamige Elektrizität, ebenso zwei Körper mit negativer Elektrizität. Ist ein Körper positiv elektrisch, ein anderer negativ elektrisch, so sind die Körper ungleichnamig elektrisch, oder sie besitzen ungleichnamige Elektrizität. Das **Grundgesetz** über die elektrische Anziehung und Abstofsung lautet daher: **Gleichnamige Elektrizitäten stofsen sich ab, ungleichnamige Elektrizitäten ziehen sich an** *).

Zur weiteren Bestätigung des Gesetzes hänge man einen geriebenen Glasstab leicht drehbar auf (Fig. 19) und nähere einem Ende desselben erst einen geriebenen Glasstab, dann einen geriebenen Harzstab; dann hänge man einen geriebenen Harzstab ebenso auf und verfahre ebenso. Oder man elektrisiere durch Berührung ein elektrisches Doppelpendel (mit seidenen Fäden) (Fig. 20) erst durch einen geriebenen Glasstab, dann (nachdem durch Berührung mit der Hand die elektrische Ladung entfernt ist) mit einem Harzstab. Rückt man ein an seidenem Faden hängendes positiv elektrisches Holunderkügelchen in die Nähe eines gleichartigen negativ elektrischen, so ziehen sich die Holunderkügelchen an.

Fig. 19.

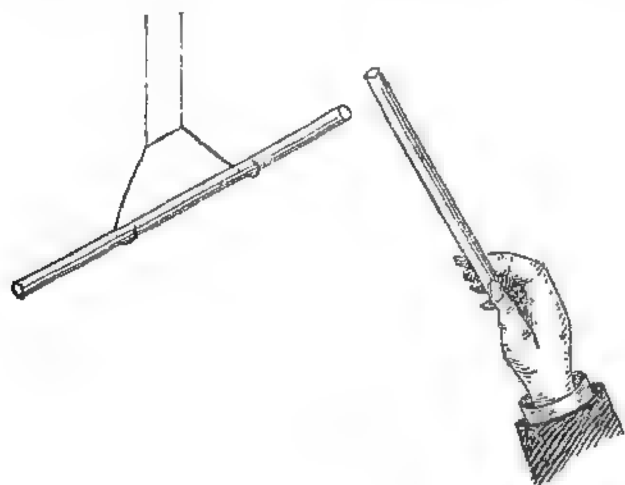
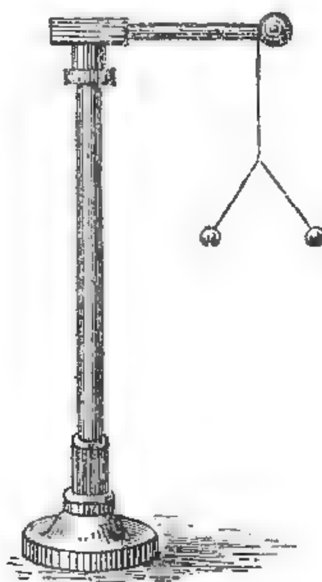


Fig. 20.



Nach diesem Gesetz kann man ermitteln, ob ein Körper positiv oder negativ elektrisch ist. Man läfst eine an einem Seidenfaden hängende leichte Kugel mit dem zu untersuchenden Körper in Berührung kommen. Wird die Kugel nachher von einem geriebenen Glasstab abgestofsen, so ist der Körper positiv elektrisch. Wird die Kugel von einem Harzstab abgestofsen, so ist der Körper negativ elektrisch.

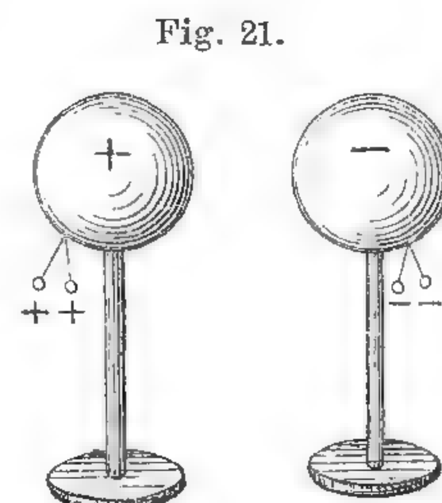
2. **Durch Reiben von Körpern aus verschiedenem Stoff** werden beide Elektrizitäten erzeugt; die eine zeigt sich an dem geriebenen Körper, die andere an dem Reibzeug. Reibt man einen Glasstab mit einem Stück Kautschuk, so wird eine an einem Seidenfaden hängende Holundermarkkugel, die man vorher

---

*) Über die Gröfse der elektrischen Anziehung und Abstofsung gilt das 1785 von dem Franzosen Coulomb aufgestellte Gesetz: Die Kraft, mit der sich zwei gleichnamige Elektrizitätsmengen abstofsen oder zwei ungleichnamige Elektrizitätsmengen anziehen, ist um so gröfser, je gröfser die Elektrizitätsmengen sind, und sie nimmt ab, wie das Quadrat der Entfernung zwischen den geladenen Körpern zunimmt. Dasselbe Gesetz gilt auch für die zwischen zwei Magnetpolen wirkende Kraft: Die magnetische Anziehung bez. Abstofsung ist um so gröfser, je stärker die Magnetpole sind; sie nimmt ab, wie das Quadrat der Entfernung zwischen den Polen zunimmt. Bei unveränderten elektrischen Ladungen, bez. denselben magnetischen Polen, wird also die anziehende oder abstofsende Kraft bei doppelter, dreifacher, vierfacher Entfernung nur noch $1/4$, $1/9$, $1/16$ der Kraft betragen, die bei der Entfernung eins wirksam war.

durch eine geriebene Harzstange negativ geladen hat, vom Kautschuk abgestofsen, vom Glasstab aber angezogen. **Der geriebene und der reibende Körper haben stets entgegengesetzte Elektrizitäten.** Genaue Versuche lehren, dafs die durch Reibung erzeugten entgegengesetzten Elektrizitäten in gleichen Mengen entstehen.

Fig. 21.



3. Macht man von zwei gleichen, an Seidenfäden hängenden Kugeln die eine positiv und die andere durch eine gleiche Ladungsmenge ebenso stark negativ elektrisch, und läfst man die Kugeln sich gegenseitig berühren, so sind sie nach der Berührung unelektrisch. Die positive und die negative Elektrizität von gleicher Menge vereinigen sich und heben sich gegenseitig auf oder neutralisieren sich. Ebenso zeigen zwei gleiche, auf Glasfüfsen befestigte Kugeln aus Messing (Fig. 21), von denen die eine mit einem Glasstabe, die andere mit einem Harzstabe durch gleiche Ladungsmengen ebenso stark elektrisch gemacht ist, nachdem man beide miteinander in Berührung gebracht hat, gar keine Elektrizität.

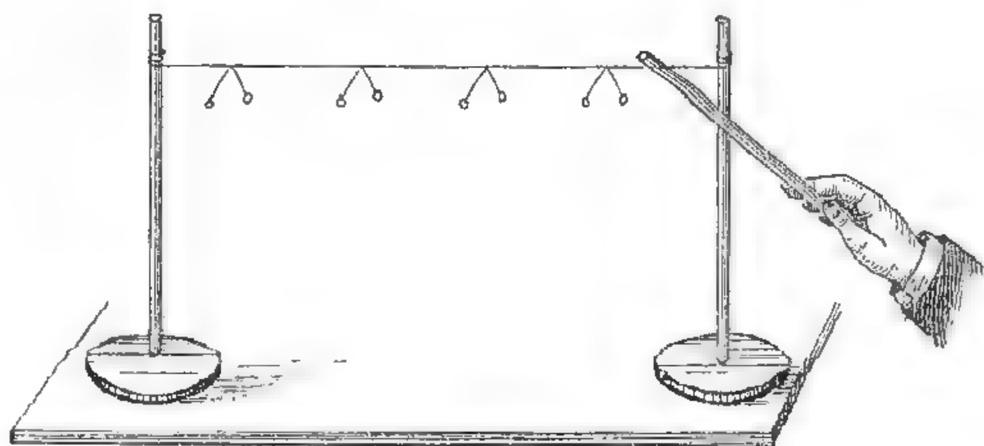
Wo sie vereinigt sind, heben gleiche Mengen entgegengesetzter Elektrizitäten sich gegenseitig auf, sie gleichen einander aus oder neutralisieren sich.

Die Vereinigung, durch die beide Elektrizitäten sich neutralisieren, kann sowohl durch unmittelbare Berührung als durch einen überspringenden Funken geschehen. **Ein elektrischer Funke entsteht, wenn entgegengesetzte Elektrizitäten die Luft durchbrechen und sich vereinigen**; dabei werden Luftteilchen und losgerissene Metallteilchen **glühend.**

§ 12. Leiter und Nichtleiter der Elektrizität.

1. Man spanne zwischen zwei Stäben aus Glas oder Hartgummi einen blanken Metalldraht, etwa aus Kupfer, und behänge ihn mit einer Anzahl leinener Fäden, an deren Enden Holundermarkkügelchen befestigt sind (Fig. 22). Berührt man dann das eine Ende des Drahtes mit einem geriebenen Hartgummistab, so gehen sogleich alle Holundermarkkugeln auseinander. Die Elektrizität hat sich über die ganze Oberfläche des Metalles verbreitet. Berührt man mit der Hand eine einzige Stelle des elektrisch gewordenen Drahtes, so fallen die Kugeln zusammen, der Draht wird also sogleich an allen Stellen seiner Oberfläche unelektrisch, man sagt, seine Elektrizität fliefst über die Hand und den menschlichen Körper in die Erde ab. Metall wird, wenn man es an einer Stelle mit einem elektrischen Körper berührt, sogleich an allen Stellen seiner Oberfläche elektrisch. Elektrisch gewordenes Metall wird, wenn man es an einer Stelle mit der Hand berührt, sogleich an allen Stellen unelektrisch. Metall ist ein **Leiter** der Elektrizität.

Fig. 22.



2. Reibt man einen Messingzylinder, den man an einem Glasgriffe anfassen kann, nur an einer Stelle, so ist er sogleich überall elektrisch. Reibt man aber eine Siegellackstange oder Hartgummistange nur an einer Stelle, so wird sie auch nur an der geriebenen Stelle elektrisch; alle übrigen Teile der Stange bleiben unelektrisch. Berührt man ferner eine geriebene elektrische Siegellackstange mit einem Finger,

so wird sie nur an der berührten Stelle unelektrisch; die übrigen Stellen bleiben elektrisch. Siegellack ist ein **Nichtleiter** der Elektrizität.

Für die Verbreitung der Elektrizität werden deshalb **die Körper in Leiter und Nichtleiter oder in gute und schlechte Leiter eingeteilt. Ein Leiter** wird, wenn man ihn an einer Stelle mit einem elektrischen Körper berührt, sogleich an allen Stellen seiner Oberfläche elektrisch, und ein elektrisch gewordener Leiter wird, wenn man ihn an einer Stelle mit der Hand berührt, sogleich an allen Stellen unelektrisch. **Ein Nichtleiter** dagegen wird, wenn man ihn an einer Stelle mit einem elektrischen Körper berührt, nur an der berührten Stelle elektrisch. Und ein elektrisch gewordener Nichtleiter wird, wenn man ihn an einer Stelle mit der Hand berührt, nur an der berührten Stelle unelektrisch.

3. **Leiter** der Elektrizität sind: Metall, Kohle, Leinen, Baumwolle, die Körper der Tiere und Menschen, Wasser und feuchte Körper, z. B. feuchtes Glas, feuchte Erde.

Nichtleiter sind: Glas, Schwefel, Harz, Hartgummi, Siegellack, Seide und trockene Luft.

Soll ein Körper seine Elektrizität behalten, so darf er nicht mit guten Leitern in Berührung sein. Man mufs ihn isolieren, d. h. mit lauter schlechten Leitern oder **Isolatoren** umgeben. Man läfst ihn bei trockenem Zustande der Luft von Ebonit- oder Glassäulen tragen oder hängt ihn an rein seidenen Schnüren auf. Bei feuchter Luft mifslingen elektrische Versuche, weil sich dann die Oberflächen der Isolatoren der benutzten Apparate leicht mit Feuchtigkeit überziehen und dadurch leitend werden.

4. Die Entdeckung, dafs einige Körper die Elektrizität leiten, andere nicht, machte 1729 Stephan Gray zu London. Er rieb eine mit Pfropfen verschlossene Glasröhre und bemerkte, dafs auch die Pfropfen elektrisch wurden. Es gelang ihm, mittels einer von seidenen Fäden gehaltenen leinenen Schnur die Elektrizität von der Glasröhre über 100 m weit bis zu einer Metallkugel zu leiten, so dafs diese leichte Körper anzog.

§ 13. Die elektrische Verteilung oder Influenz.

1. Nähert man eine geriebene Hartgummistange einem unelektrischen isolierten Metallzylinder *ac* (Fig. 23), an welchem oben, unten und in der Mitte elektrische Pendel hängen (das mittelste ist in der Zeichnung weggelassen), nur so weit, dafs keine Elektrizität übergehen kann, so werden das untere und das obere elektrische Pendel von dem Metallzylinder abgestofsen, das mittelste nicht. Also wird der Metallzylinder durch die Nähe der negativ elektrischen Hartgummistange oben und unten elektrisch, und zwar zeigt sich bei der Untersuchung des elektrischen Zustandes der Pendel das dem negativ elektrischen Hartgummi nahe Ende des Metallzylinders positiv, das von ihm entfernte Ende negativ elektrisch. Der ganze Zylinder zeigt sich aber unelektrisch, wenn man den Hartgummi entfernt; daher müssen die durch die Nähe des geriebenen Hartgummistabes erzeugten Elektrizitäten in gleichen Mengen entstanden sein. — Wenn man den Hartgummistab noch einmal nähert, den Zylinder mit der Hand kurz berührt und darauf die elektrische Hartgummistange entfernt, so zeigt der Metallzylinder nur noch positive Elektrizität; die negative Elektrizität ist aber durch den menschlichen Körper nach der Erde abgeflossen. — Diese positive Elektrizität läfst sich, solange der Hartgummi in der Nähe des Zylinders ist, aus diesem durch Berührung mit der Hand nicht entfernen. Sie wird durch die negative Elektrizität des Hartgummis festgehalten oder gebunden.

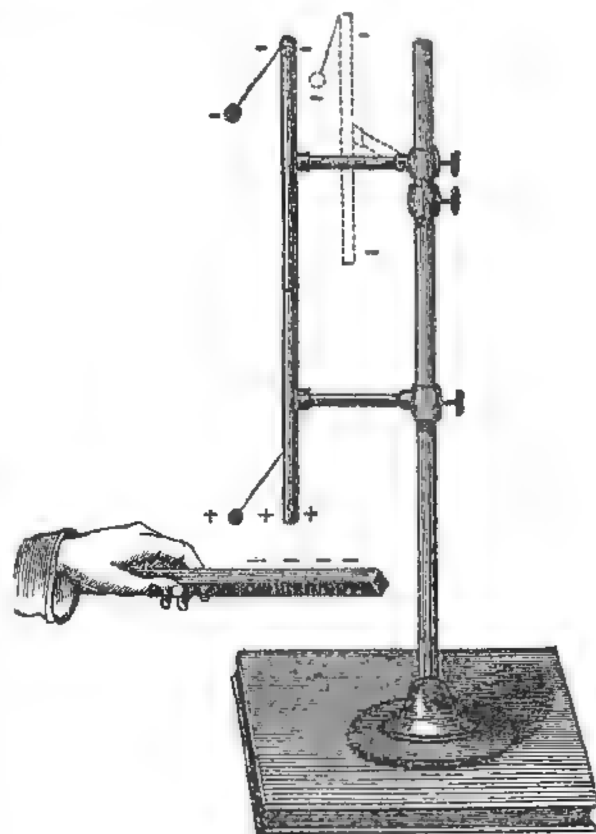
Durch die Nähe eines elektrischen Körpers wird in einem anderen Körper Elektrizität

erregt. **Die Erregung von Elektrizität durch die Nähe eines elektrischen Körpers heifst die elektrische Verteilung oder Influenz.** Die durch Verteilung hervorgerufenen Elektrizitäten werden Influenzelektrizitäten genannt. Aus den beschriebenen Versuchen folgt zuerst als Gesetz der elektrischen Verteilung:

Jeder elektrische Körper erzeugt in einem nahen Leiter ungleichnamige und gleichnamige Elektrizität, zieht die ungleichnamige Elektrizität herbei und bindet sie, stöfst aber die gleichnamige ab, so dafs sie frei ist und sich ableiten läfst.

2. Da der Metallzylinder von aufsen her keine Elektrizität empfangen hat und doch beide Elektrizitäten zeigt, so mufs er in sich von Natur beide Elektrizitäten enthalten. Dasselbe gilt von allen Leitern, weil sich mit ihnen derselbe Versuch anstellen läfst. Die Nichtleiter werden, mit dem einen Stoffe gerieben, positiv elektrisch, mit einem anderen Stoffe gerieben, negativ elektrisch, z. B. zeigt sich Horngummi mit einem amalgamierten Leder gerieben, positiv, mit Wolle oder Katzenfell gerieben negativ elektrisch; auch in den Nichtleitern sind von Natur beide Elektrizitäten. Daher macht man über das Vorhandensein natürlicher Elektrizitäten die **Annahme** oder **Hypothese:**

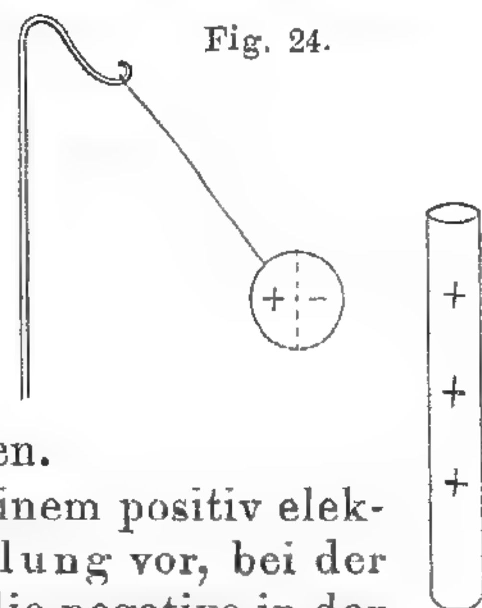
Fig. 23.



In jedem Körper sind von Natur beide Elektrizitäten in gleichen Mengen vorhanden.

Beide in einem unelektrischen Körper vorhandenen Elektrizitäten sind in gleichen, übrigens unbegrenzten, Mengen vorhanden und von Natur gleich stark; die eine stöfst ab, was die andere anzieht und hebt deren Wirkungen auf. Deshalb ist an einem unelektrischen Körper keine Elektrizität wahrzunehmen. Nähert man aber einen elektrischen Körper einem unelektrischen, so werden in diesem beide Elektrizitäten voneinander getrennt; sie neutralisieren sich nicht mehr, sondern zeigen sich nach aufsenhin wirksam. Entfernt man den elektrischen Körper, so vereinigen und neutralisieren sich in dem ursprünglich unelektrischen Körper beide Elektrizitäten wieder, und der Körper zeigt sich unelektrisch. Berührt man einen der Verteilung ausgesetzten Körper mit der Hand, so fliefst die mit dem elektrischen Körper gleichnamige Influenzelektrizität in die Erde ab; sie ist frei, weil sie nicht angezogen, sondern abgestofsen wird. Die ungleichnamige Influenzelektrizität aber kann nicht abfliefsen, weil sie von dem elektrischen Körper festgehalten wird. Anstatt durch Verteilung können die in einem sich unelektrisch erweisenden Körper vorhandenen, entgegengesetzten Elektrizitäten auch durch Reiben getrennt werden.

Fig. 24.



3. Wird eine Kugel an einem leinenen Faden von einem positiv elektrischen Körper angezogen, so geht in ihr zuvor eine Verteilung vor, bei der die positive Elektrizität abgestofsen wird und fortfliefst und die negative in der Kugel bleibt; ein Körper wird daher elektrisch, ehe er von einem elektrischen Körper angezogen wird. Hängt eine Kugel an einem seidenen Faden, so wird die einem positiv elektrischen Körper zugewandte Hälfte derselben negativ, die von ihm abgewandte Hälfte positiv elektrisch. Die negative Hälfte wird angezogen, die positive abgestofsen. Weil aber die negativ elektrische Hälfte der Kugel dem elektrischen Körper näher ist, ist die Anziehung stärker als die Abstofsung (Fig. 24). Demnach gibt es keine andere elektrische Anziehung als die zwischen entgegengesetzten Elektrizitäten.

4. Wo ferner eine Mitteilung von Elektrizität einzutreten scheint, findet in Wirklichkeit eine Verteilung und Ausgleichung statt. Die positive Elektrizität eines elektrischen Körpers zieht die negative Elektrizität des nahen Körpers an, in dem eine Verteilung vor sich gegangen ist; die entgegengesetzten Elektrizitäten vereinigen sich, wenn beide in Berührung kommen, und es bleibt in dem bisher unelektrischen Körper positive Elektrizität zurück.

§ 14. Blatt-Elektroskope. Elektrizitätsgrad. Schirmwirkung.

1. **Elektroskope.** Auf der Abstofsung gleichnamig elektrischer Körper beruhen die **Elektroskope,** Vorrichtungen, um das Vorhandensein und die Art von freier Elektrizität nachzuweisen. Das **Goldblättchenelektroskop** (Fig. 25) ist ein Glasgefäfs, in welchem an einem Draht zwei Streifen Blattgold nebeneinanderhängen; berührt man das mit einem Knopf versehene obere Ende des Drahtes mit einem schwach elektrischen Körper, so zeigt das Auseinandergehen der Goldblättchen das Vorhandensein von Elektrizität an.

Fig. 25.

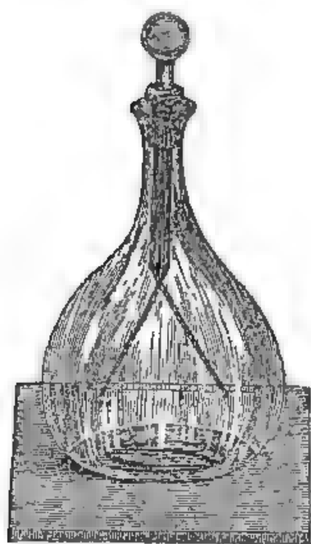
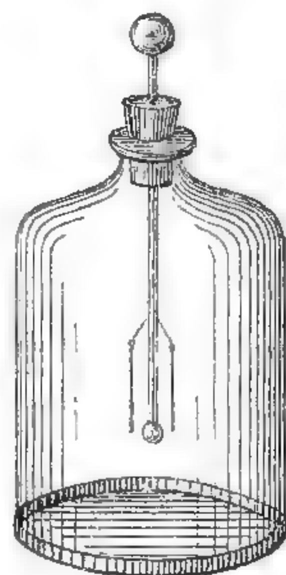


Fig. 26.



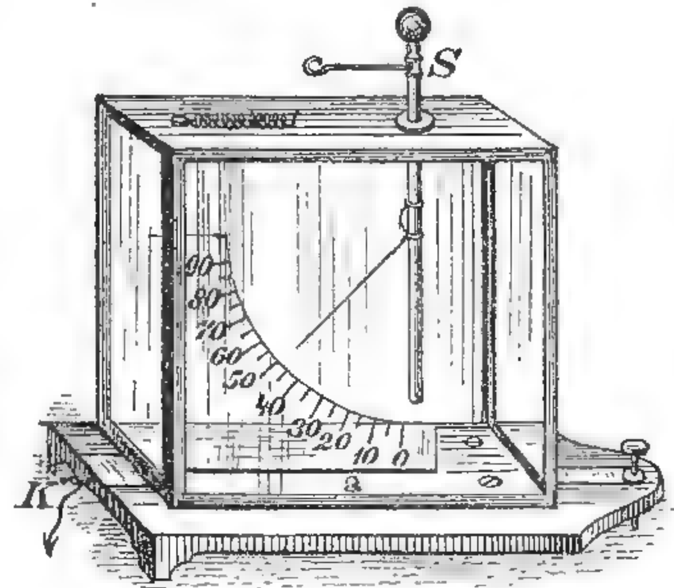
Von sehr grofser Empfindlichkeit ist das **Elektroskop** von **Kolbe** (Fig. 26). Eine Glasflasche ist durch einen Pfropfen von Hartgummi verschlossen, durch den ein vernickeltes Messingstäbchen führt, welches oben und unten in einer Kugel endigt. An der unteren Hälfte des Stäbchens sind zu beiden Seiten zwei äufserst leicht bewegliche Aluminiumblättchen befestigt. Der Boden des Glases wird von einer Metallscheibe gebildet, durch welche das gläserne Gehäuse ableitend mit der Erde in Verbindung steht.

2. **Die Ladung** eines Elektroskopes erfolgt: a) durch Berührung mittels einer Probekugel oder Probescheibe; das ist eine kleine Kugel oder Scheibe aus Messing, die entweder der Isolierung wegen an einer Siegellackstange befestigt oder mit einem Glasgriff versehen ist. Von dem Körper, dessen Elektrizität untersucht werden soll, wird mit der Probekugel durch Berührung Elektrizität entnommen und durch Berührung auf die Kugel des Elektroskopes gebracht; (b durch Verteilung. Wird einem Elektroskop von oben her ein positiv elektrischer Glasstab genähert, so entsteht in dem Metallstab des Elektroskop Verteilung; negative Influenzelektrizität tritt oben in die Kugel, positive geht in die Blättchen, und diese gehen auseinander. Wird die Kugel ableitend mit dem Finger berührt, so gehen die Blättchen zusammen, weil die positive Influenzelektrizität nach der Erde abfliefst. Entfernt man erst den Finger, dann den Glasstab, so wird die vorher gebundene negative Influenzelektrizität frei und verbreitet sich von der Kugel aus über das Stäbchen und die Blättchen, so dafs diese nun auseinandergehen, weil sie negativ geladen sind. Entsprechend kann man das Elektroskop durch Influenz mit Hilfe eines geriebenen Harzstabes positiv laden.

3. **Ladungsgrad** oder **Elektrizitätsgrad.** Je mehr Elektrizität auf das Elektroskop übertragen wird, um so weiter gehen die Metallblättchen auseinander. Die geringere oder stärkere Abstofsung der Blättchen zeigt daher einen niedrigeren oder höheren Ladungsgrad oder **Elektrizitätsgrad** an. Der Elektrizitätsgrad oder Grad des elektrischen Zustandes heifst auch elektrisches Potential. Ist das Elektroskop mit einer Gradeinteilung versehen, welche es ermöglicht, den Ladungsgrad abzulesen, so heifst es ein **Elektrometer.** Fig. 27 stellt das Elektrometer von Kolbe dar; dasselbe besitzt nur ein bewegliches Blättchen aus Aluminium, welches von einem lotrechten, festen Metallstabe abgestofsen wird und den Ladungsgrad auf der Gradeinteilung anzeigt, wenn das Elektrometer geladen ist.

Versuche. a) Man lade eine isolierte Metallkugel, die durch einen dünnen, 1,5 m langen Draht mit einem Elektroskop oder Elektrometer verbunden ist, und beobachte den Blättchenausschlag. Verbindet man das Elektroskop alsdann mit einer gröſseren Kugel und lädt diese, bis das Elektroskop den gleichen Elektrizitätsgrad anzeigt, so ist eine gröſsere Ladungsmenge erforderlich. **Ein Leiter mit gröſserer Oberfläche braucht also eine gröſsere Ladungs-** oder **Elektrizitätsmenge, um den gleichen Ladungs- oder Elektrizitätsgrad zu erlangen, wie ein Leiter mit kleinerer Oberfläche.**

Fig. 27.



b) Man lade zwei mit gleichen Elektroskopen leitend verbundene, isolierte Kugeln mit gleichnamiger Elektrizität auf ungleiche Elektrizitätsgrade und verbinde sie dann durch einen isoliert angefaſsten Draht. Die Elektroskope, welche vorher ungleiche Ausschläge aufwiesen, haben nach der hergestellten Verbindung gleiche Ausschläge; der gröſsere Auschlag ist kleiner, der kleinere gröſser geworden. Daher ist vom Leiter mit höherem Elektrizitätsgrade Elektrizität nach dem Leiter mit kleinerem Elektrizitätsgrade geflossen. Es gilt der Satz: **Von einem Leiter mit höherem Elektrizitätsgrade flieſst so lange Elektrizität zu einem leitend verbundenen Leiter mit geringerem Elektrizitätsgrade über, bis beide Leiter gleichen Elektrizitätsgrad haben.**

4. **Prüfung der Art der Elektrizität.** a) Ist die Art der dem Elektroskop mitgeteilten Elektrizität unbekannt, so nähere man der Kugel einen geriebenen Glasstab; die Blättchen gehen dann entweder weiter auseinander, oder sie fallen zusammen.

Fig. 28.

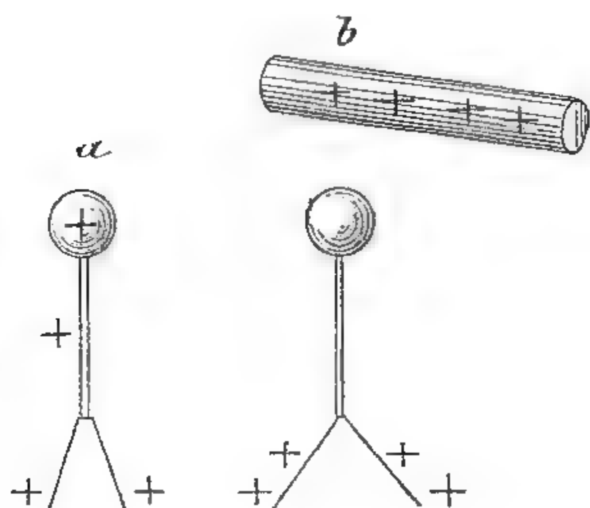
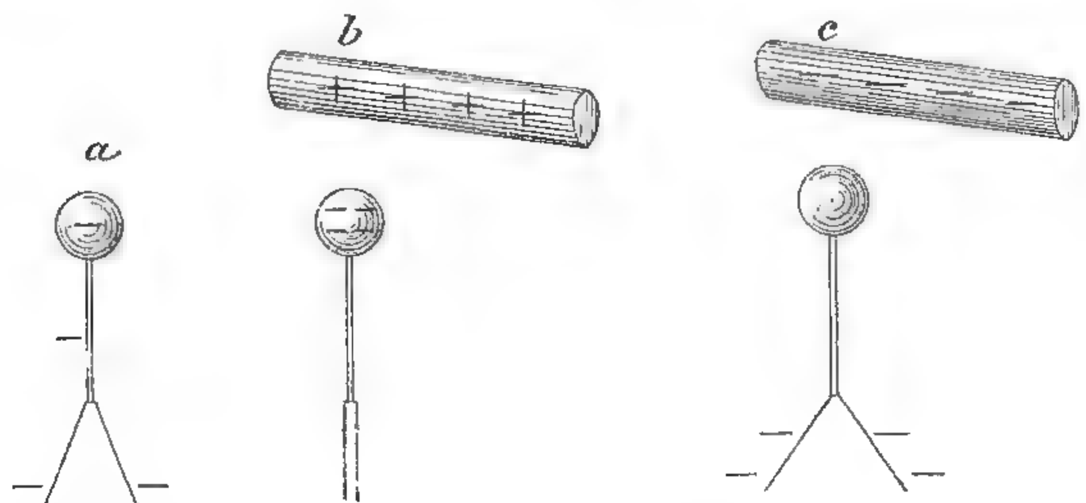
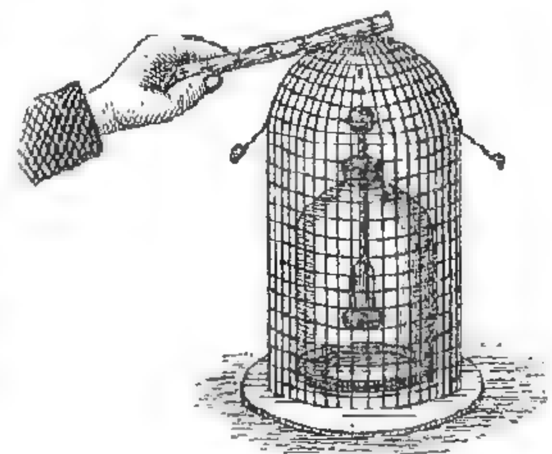


Fig. 29.



Im ersten Falle besitzt das Elektroskop positive Elektrizität, welche durch die Annäherung des Stabes ganz in die Blättchen getrieben wird, so daſs diese weiter auseinandergehen (Fig. 28, *a* und *b*); im zweiten Falle ist auf dem Elektroskop negative Elektrizität, welche durch den positiv elektrischen Glasstab ganz in die Kugel gezogen worden ist, so daſs die Blättchen unelektrisch werden und zusammenfallen (Fig. 29, *a* und *b*). b) Ist das Elektroskop durch Verteilung negativ geladen worden, und die Art der Elektrizität eines von oben genäherten Körpers ist unbekannt, so ist die Elektrizität dieses Körpers positiv, wenn die Blättchen zusammenfallen, negativ, wenn sie auseinandergehen (Fig. 29, *a*, *b*, *c*).

Fig. 30.



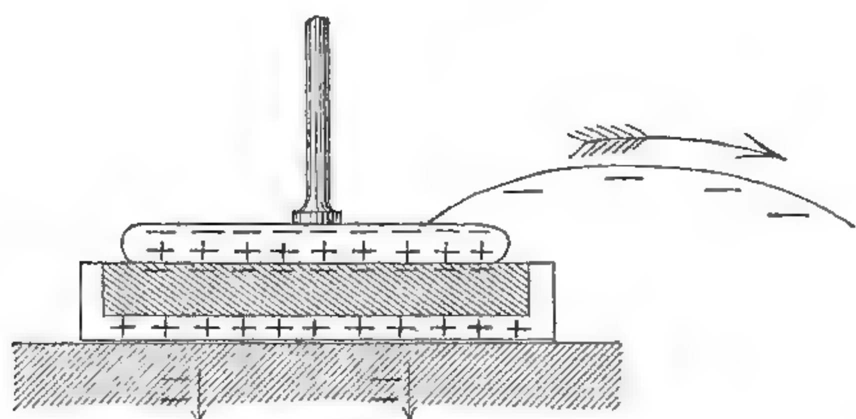
5. **Schirmwirkung.** Die Luft ist ein Nichtleiter oder Isolator. Die Versuche über die elektrische Verteilung beweisen, daſs die von einem elektrischen Körper, z. B. einem geriebenen Glasstabe ausgehenden Wirkungen, durch den Nichtleiter Luft hindurchgehen. Bringt man den geriebenen Glasstab (oder Harzstab) dem Knopfe eines Elektroskops nahe und hält zwischen Glasstab und Elektroskop eine Glas- oder Hartgummiplatte, so zeigt das Elektroskop den gleichen Ausschlag, als wenn die Platte nicht da wäre. Bringt man hingegen eine Metallplatte,

ein Buch oder ein Brett zwischen den elektrisierten Stab und das Elektroskop, so zeigt das Elektroskop keinen Ausschlag. Die elektrische Kraftwirkung des geriebenen Stabes geht durch diese Leiter oder Halbleiter nicht hindurch, sondern Leiter und Halbleiter schirmen das Elektroskop vor der elektrischen Wirkung des Stabes, ähnlich wie ein Ofenschirm gegen Wärmestrahlen schirmt. Gleicherweise zeigt ein Elektroskop, wenn es auf einer Blechtafel steht und mit einem Drahtnetz überdeckt ist, also ganz von Leitern umgeben ist, keinen Ausschlag, selbst wenn der geriebene Glasstab so nahe an das Netz gebracht wird, dafs Funken überspringen (Fig. 30). Es gilt der Satz: **Nichtleiter lassen die von einem elektrisierten Körper ausgehenden Kraftwirkungen hindurch, Leiter halten sie zurück.** Weil Nichtleiter elektrische Kraftwirkungen hin durch lassen, heifsen sie **Dielektrika.**

§ 15. Der Elektrophor.

1. Auf der Verteilung beruht der **Elektrophor** (Elektrizitätsträger) (Fig. 31), der bei vielen Versuchen die Stelle einer Elektrisiermaschine vertreten kann, 1762 von Wilke erfunden, 1775 von Volta verbessert. Der Elektrophor besteht aus drei Teilen: der Form, dem Kuchen und dem Deckel. Die Form ist ein flaches, rundes Blechgefäfs von 30 bis 50 cm Durchmesser. In die Form giefst man eine geschmolzene Mischung von 1 Teil Schellack und 4 Teilen Kolophonium (oder 1 Teil Schwefelblumen und 4 Teilen Paraffin) und läfst die Masse erkalten, worauf sie einen Harzkuchen mit glatter Oberfläche bilden mufs. Häufig gebraucht man als Elektrophorkuchen eine Ebonitplatte auf einer Unterlage von Stanniol oder Zink. Der Kuchen wird durch Schlagen mit einem Fuchsschwanz oder Katzenfell elektrisch gemacht. Setzt man nun den Deckel, eine etwas kleinere Metallplatte, die als isolierenden Handgriff einen Glas- oder Ebonitstab oder seidene Schnüren hat, auf den Kuchen, so erhält sich in ihm die Elektrizität oft mehrere Wochen lang; daher der Name Elektrophor oder Elektrizitätsträger.

Fig. 31.



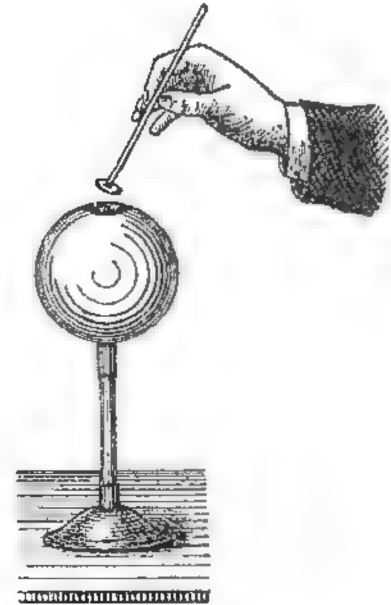
2. Auf den geschlagenen Kuchen setzt man den Deckel, berührt denselben mit einem Finger und hebt ihn dann an der isolierenden Handhabe empor. Der Deckel zeigt sich jetzt, an einem Elektroskop geprüft, positiv elektrisch, und es springt von ihm zu einem nahe gebrachten Leiter, z. B. einem Fingerknöchel, ein Funke über. Dies Aufsetzen, Berühren und Abheben des Deckels läfst sich öfter wiederholen, ohne dafs der Kuchen von neuem gerieben wird. — Die negative Elektrizität des Kuchens bewirkt in dem aufliegenden Deckel eine Verteilung, zieht positive Elektrizität nach unten und stöfst die negative nach obenhin ab. Berührt man nun den Deckel vor dem Aufheben mit einem Finger, so fliefst die abgestofsene negative Elektrizität über den menschlichen Körper in die Erde ab. Die angezogene positive Elektrizität aber bleibt in dem Deckel, weil sie von der des Kuchens festgehalten wird. Hebt man nun den Deckel auf, so wird die positive Elektrizität frei, und der Deckel gibt einen Funken. Wenn man den Deckel auf den Kuchen setzt und, ohne ihn zu berühren, isoliert aufhebt, so zeigt er sich unelektrisch; die durch die Verteilung getrennten Elektrizitäten haben sich wieder vereinigt und einander aufgehoben. Ferner zieht die negative Elektrizität an der Oberfläche des Kuchens durch Verteilung positive Elektrizität in die Unterfläche desselben und in die Form; dieselbe hält die negative Elektrizität oben im Kuchen fest

und hindert samt dem aufliegenden Deckel die Zerstreuung der Elektrizität in die Luft; deshalb behält der Kuchen längere Zeit seine Elektrizität.

§ 16. Der Sitz ruhender Elektrizität, Spannung, Dichte und das Ausströmen aus Spitzen.

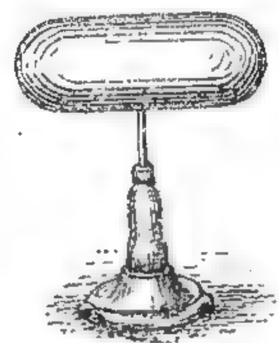
1. **Sitz, Spannung.** Alle Teilchen derselben Elektrizität stofsen sich gegenseitig ab und suchen sich voneinander möglichst weit zu entfernen. Deshalb ist der Sitz der Elektrizität die Oberfläche der Leiter. Wenn man eine isolierte, mit einer Öffnung versehene Hohlkugel aus Metall (Fig. 32) elektrisiert und ihre Oberfläche mit einer Probescheibe (einer kleinen Messingscheibe mit gläsernem Handgriff) berührt, so wird die Scheibe elektrisch. Berührt man aber die innere Fläche der elektrischen Kugel mit der Probescheibe, so bleibt letztere unelektrisch. Hält man eine Drahtglocke, wie sie als Schutz gegen die Fliegen gebraucht wird, an einer reinseidenen Schnur, und elektrisiert man die Glocke, so stofsen sich zwei, im Innern derselben an leinenen Fäden hängende Markkugeln nicht ab, während Streifen von Blattgold, welche man aufsen an der Drahtglocke angeklebt hat, lebhaft vom Netzwerk abgestofsen werden. Die Elektrizität verbreitet sich daher nur über die Oberfläche der Leiter, drängt nach aufsen und sucht sich von dem elektrischen Körper zu entfernen. Das Bestreben der Elektrizität, sich von der Oberfläche eines elektrischen Körpers nach aufsen hin zu entfernen, ruft einen Druck auf die isolierende Umgebung, z. B. die Luft, hervor, der um so gröfser ist, je stärker der Körper geladen ist; dieser auf die nichtleitende Umgebung ausgeübte Druck heifst **die Spannung** der Elektrizität.

Fig. 32.



2. **Elektrische Dichte** ist die Elektrizitätsmenge auf der Flächeneinheit. Auf einer Kugel ist die Elektrizität gleichmäfsig auf der Oberfläche verteilt oder von gleicher Dichte. An einem länglichen Konduktor (Fig. 33) begibt sich die Elektrizität infolge der Abstofsung vorzugsweise an seine beiden Enden, es zeigt sich daselbst die gröfste Dichte. Man überzeugt sich hiervon, indem man mittels einer Probescheibe erst von der Mitte, dann von dem stärker gekrümmten Ende des geladenen länglichen Konduktors Elektrizität entnimmt und auf ein empfindliches Elektroskop überträgt. Der erste Ausschlag ist kleiner als der zweite. Beklebt man einen kantigen Pappkörper, einen Würfel oder einen Vierflächner, mit Stanniol und hängt ihn an einem Seidenfaden isoliert auf, so haben die Kanten und Ecken nach der Elektrisierung die gröfste elektrische Dichte. Satz: **Auf stärker gekrümmten Stellen, sowie Kanten und Ecken der Oberfläche eines geladenen Leiters ist die elektrische Dichte gröfser als auf schwächer gekrümmten und auf ebenen Stellen.**

Fig. 33.



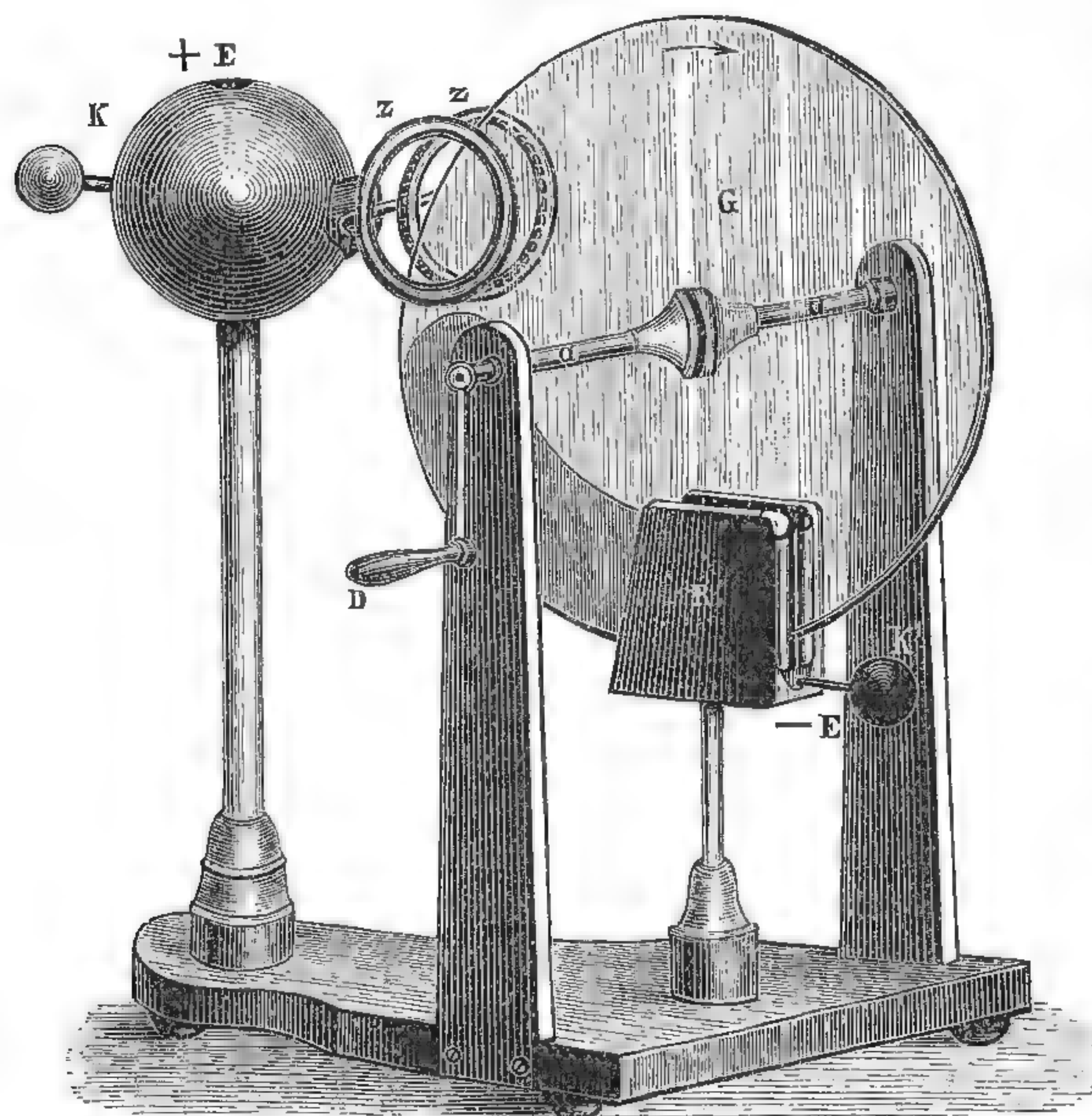
Das **Ausströmen aus Spitzen.** Wird an einem elektrisierten, isolierten Konduktor, etwa einer Messingkugel auf einem Glasfufse, noch eine **Drahtspitze** befestigt, so zeigt er sich sehr bald unelektrisch, wogegen der Konduktor die Elektrizität längere Zeit bewahrt, wenn er die Spitze nicht hat. Besonders einfach läfst sich die Spitzenwirkung am geladenen Deckel des Elektrophors zeigen. Legt man auf den geladenen Deckel eine grofse Nadel, deren Spitze über den Deckel hervorragt, so ist die Ladung in sehr kurzer Zeit verschwunden; im Dunkeln sieht man die Elektrizität in Form eines kleinen Lichtbüschels aus der Spitze strömen. **Aus den**

Spitzen strömt die Elektrizität aus; es ist dies eine Folge der auf der Spitze eines geladenen Leiters entstehenden grofsen Dichte und Spannung. Durch das Ausströmen der Elektrizität werden die der Spitze nahen Luftteilchen mit ihr gleich elektrisch und werden von ihr abgestofsen; so entsteht der elektrische Wind, durch welchen eine der Spitze genäherte Lichtflamme nach einer Seite hingeblasen wird (siehe § 18, 7).

§ 17. Die Reibungselektrisiermaschine.

Auf Reibung, Influenz und der Spitzenwirkung beruht die Reibungselektrisiermaschine. Die erste, freilich sehr einfache Elektrisiermaschine hatte 1663 Otto von Guericke (§ 114) gebaut; er rieb eine grofse Schwefelkugel, die mittels einer Kurbel um eine feste Achse gedreht werden konnte, an der inneren Handfläche.

Fig. 34.



Jede Reibungselektrisiermaschine hat drei Hauptteile: den geriebenen Körper, das Reibzeug und den Konduktor. Der **geriebene Körper** ist gewöhnlich eine Glasscheibe *G* (Fig. 34), die auf einer gläsernen Achse *a* befestigt ist und sich mittels eines Drehlings *D* drehen läfst. Das **Reibzeug** *R* besteht aus zwei Brettchen, welche auf der der Glasscheibe zugekehrten Fläche mit weichem Filz beklebt und dann mit Leder überzogen sind; auf dieses wird mit etwas Talg eine zerstofsene Mischung aus 1 Teil Zinn, 1 Teil Zink und 2 Teilen (erhitztem) Quecksilber, das Kienmayersche Amalgam, eingerieben; an dem Reibzeug sind in der Drehrichtung der Scheibe Stücke Seidenzeug oder Wachstaffet angebracht, welche die Zerstreuung der Elektrizität in die Luft hindern. Das Reibzeug wird durch Federn gegen die Scheibe gedrückt und steht in leitender Verbindung mit einer kleinen Metallkugel *K'*, durch welche es mit Hilfe einer herabhängenden Kette in leitende Verbindung mit dem Erdboden gesetzt werden kann. Der **Konduktor** *K* ist eine durch eine Glassäule isolierte hohle Kugel aus Metall, welche an einem Metallstabe noch eine kleinere Kugel trägt*). Von der grofsen Kugel führen nach beiden Seitenflächen der Scheibe metallische Leitungen, welche in zwei an den Innenseiten mit Metallspitzen versehenen metallenen Ringen endigen, die im übrigen mit polierten Holzfassungen versehen sind.

Die Wirkungsweise der Maschine ist folgende. Dreht man die Scheibe, so wird durch Reibung das Reibzeug negativ, die Scheibe aber positiv elektrisch. Die auf

*) Reibzeug und Konduktor sind der Elektrisiermaschine 1744 von Professor Winkler in Leipzig gegeben worden. Ein Glaszylinder, der sich drehte, rieb sich an einem Kissen; Silberfäden leiteten die erzeugte Elektrizität vom Glaszylinder auf eine Metallröhre, die an seidenen Schnüren isoliert aufgehängt war.

beiden Seiten positiv elektrisch geladene Scheibe wirkt verteilend auf die Metallmasse des Konduktors, zieht die negative Elektrizität in die Zähne der Ringe und stöſst die positive Elektrizität ab, welche sich auf der Oberfläche des Konduktors ansammelt. Wegen der Spitzenwirkung und weil die positive Elektrizität der Scheibe anziehend wirkt, strömt die negative Elektrizität von den Zähnen der Ringe ab und tritt auf die Glasscheibe über, wo sie sich mit der positiven Elektrizität der Scheibe vereinigt und diese wieder unelektrisch macht. Da sich die Vorgänge bei der Drehung wiederholen, läſst sich Elektrizität von hoher Spannung auf dem Konduktor ansammeln. Die Scheibe ist daher, in der Richtung ihrer Drehung gerechnet, zwischen dem Reibzeug und dem Konduktor positiv elektrisch, während sie vom Konduktor bis zum Reibzeug unelektrisch ist. Auf dem groſsen Konduktor sammelt sich also positive Elektrizität an, die durch Verteilung erzeugt worden ist; er heiſst **positiver Konduktor.** Der kleine Konduktor K' wird negativ elektrisch, weil er mit dem Reibzeug leitend verbunden ist; man nennt ihn **negativer Konduktor.** Zur Entlastung des Reibzeugs von der negativen Elektrizität wird der negative Konduktor nach dem Erdboden abgeleitet. Prüfe mit Probekugel und Elektroskop den elektrischen Zustand der Scheibe und der Konduktoren!

§ 18. Versuche mit der Elektrisiermaschine.

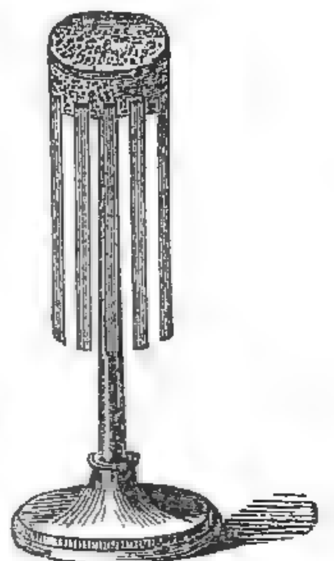
1. Wirkungen der Elektrisiermaschine auf den menschlichen Körper. Nähert man dem Konduktor einer in Tätigkeit gesetzten Elektrisiermaschine die Stirn oder einen Handrücken, so hat man zuerst ein Gefühl, als ob man Spinnengewebe berührte, hervorgerufen durch eine Bewegung der feinen Härchen an Stirn und Hand. Bei gröſserer Annäherung springt mit hörbarem Geräusch ein knisternder Funke über, welcher auf die Hautnerven einwirkt und einen unbedeutenden stechenden Schmerz verursacht. Eine gleiche Empfindung hat man, wenn man aus einem elektrisierten Menschen Funken zieht; ein Mensch wird elektrisch, wenn er auf dem Isolierschemel, einem Brett mit starken Glasfüſsen, steht und eine Hand auf den Konduktor legt. In der Nähe der Maschine nimmt man einen phosphorähnlichen Geruch wahr, der von Ozon, dem chemisch umgebildeten Sauerstoff der Luft, herrührt.

2. Erscheinungen elektrischer Anziehung. Eine Markkugel an einem leinenen oder baumwollenen Faden wird von dem elektrisierten Konduktor angezogen; die elektrische Nadel, eine leichte Metallnadel, die sich auf einer Spitze frei bewegen kann, wendet sich dem Konduktor zu.

Schreibpapier wird, wenn man es auf dem Ofen oder über einer Lampe erwärmt und dann mit Gummi oder der trocknen Hand wiederholt in derselben Richtung reibt, so elektrisch, daſs es von der Hand angezogen wird oder an der Wand hängen bleibt.

Ein elektrischer und ein unelektrischer Körper ziehen sich gegenseitig an.

Fig. 35.



3. Erscheinungen elektrischer Abstoſsung. Ein **Büschel von Papierstreifen** (Fig. 35) breitet sich auf einem isolierenden Gestell, dessen obere Platte den elektrischen Konduktor berührt, kugelförmig aus. Stückchen von **Schaumgold und Sonnenblumenmark,** die man auf den Konduktor gelegt hat, springen herunter, wenn derselbe elektrisch wird. Aus diesen Erscheinungen folgt: Gleichnamig elektrische Körper stoſsen sich ab.

Wenn man einen Streifen **Schreibpapier** der Länge nach in zwei schmälere Streifen zerschneidet, die oben noch zusammenhängen, sie erwärmt und wiederholt in derselben Richtung mit Gummi reibt, so stoſsen die schmalen Streifen sich gegenseitig ab.

4. Erscheinungen elektrischer Anziehung und Abstofsung. Ein leichter Körper zwischen einem nicht isolierten Leiter und dem Konduktor einer Elektrisiermaschine wird zuerst von diesem angezogen, dann von ihm abgestofsen und zugleich von dem unelektrischen Leiter angezogen; hat er diesen berührt und dadurch seine Elektrizität verloren, so wird er von neuem angezogen und abgestofsen und bewegt sich darum hin und her. Das **elektrische Glockenspiel** (Fig. 36) besteht aus zwei Glocken, von denen die eine unelektrisch bleibt, während die andere, isolierte, mit dem Konduktor in leitende Verbindung gesetzt wird; zwischen beiden Glocken hängt an einem seidenen Faden eine Metallkugel, diese wird zuerst von der elektrischen Glocke angezogen, dann von derselben abgestofsen und von der unelektrischen Glocke angezogen; die Kugel schlägt deshalb abwechselnd gegen beide Glocken. Beim **elektrischen Kugeltanz** (Fig. 37) hüpfen in einem Glaszylinder, der oben und unten durch Metallplatten verschlossen ist, Markkugeln hinauf zu der oberen, mit dem Konduktor leitend verbundenen Platte und wieder hinab zu der unteren, die mit der Erde in leitender Verbindung steht.

Fig. 36.

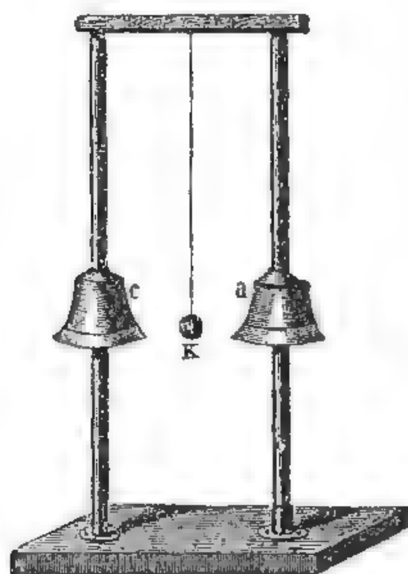
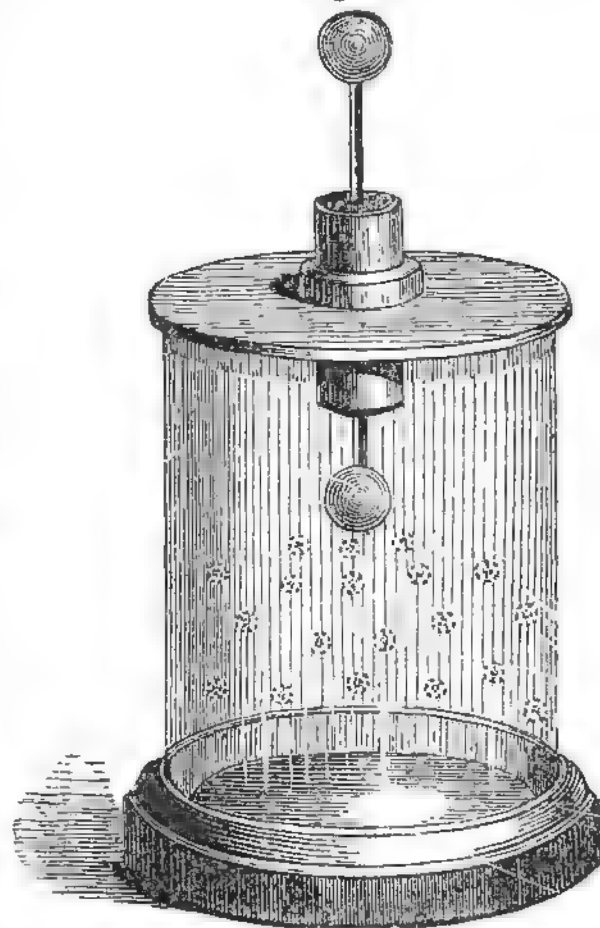


Fig. 37.



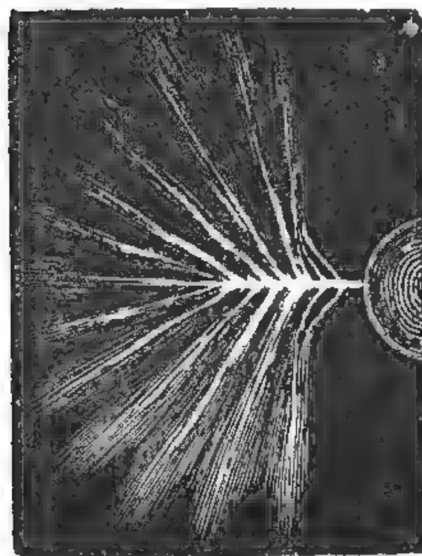
5. Elektrische Lichterscheinungen. a) **Durch eine Reibungselektrisiermaschine lassen sich dreierlei elektrische Lichterscheinungen hervorbringen: Funken, Büschellicht und Glimmlicht. Elektrische Funken** erhält man, wenn man dem Konduktor irgendeinen Leiter so nahe bringt, dafs die Elektrizität die nichtleitende Luft zu durchbrechen vermag. Leicht kann man in einer Leitung, welche vom Konduktor nach dem Erdboden führt, viele kleine Zwischenräume anbringen, in denen Funken erscheinen. Man klebt auf eine Glasröhre (Fig. 38) ringsherum in einer Schlangenlinie Stückchen von Stanniol (dünn gewalztem Zinn), die durch Zwischenräume voneinander getrennt sind. Das eine Ende dieses Schlangenstabes hält man in der Hand, mit dem anderen berührt man den Konduktor. Wird die Maschine in Tätigkeit gesetzt, so zeigen sich im Finstern alle Unterbrechungsstellen der Leitung durch Funken erleuchtet.

Fig. 38.



Um Illuminationen von Namenszügen hervorzubringen, reiht man auf einen seidenen Faden Metallperlen so, dafs zwei aufeinanderfolgende immer durch eine Glasperle getrennt sind, bringt den Faden mit Hilfe von Nichtleitern in die beabsichtigte Lage und verbindet sein eines Ende mit dem Konduktor, das andere mit der Erde.

Fig. 39.



b) Das **positiv elektrische Büschellicht** (Fig. 39) zeigt sich im Dunkeln, wenn man an dem positiven Konduktor eine kleine metallene Kugel anbringt und dieser einen Leiter nur so weit nähert, dafs kein Funke überspringen kann. Es besteht aus violetten Lichtstrahlen. Das elektrische Ei ist ein eiförmiges Glasgefäfs mit verdünnter Luft; die Enden desselben sind durch Metallfassungen verschlossen, welche in dem Gefäfs mit kleinen Kugeln versehen sind. Läfst man vom Konduktor auf die eine Metall-

fassung Funken überspringen, so erfüllt sich das Gefäfs mit schönen violetten Lichtstrahlen.

c) Das **negativ elektrische Glimmlicht** nimmt man im Dunkeln wahr, wenn man am negativen Konduktor eine Metallspitze anbringt, oder wenn man dem positiven Konduktor eine Metallspitze nähert. Es erscheint entweder als ein kleiner Büschel von Strahlen oder als ein kleiner Stern.

6. **Lichtenbergsche Figuren.** Lichtenberg liefs auf eine Harzplatte einen Funken von einem positiv elektrischen Körper überspringen und bestreute die Stelle mit feinem Blütenstaube (mit Bärlappsamen); da lagerte sich der Staub in strahlenartigen Figuren (Fig. 40, I); bei der negativen Elektrizität bilden sich kreisrunde Figuren (Fig. 40, II).

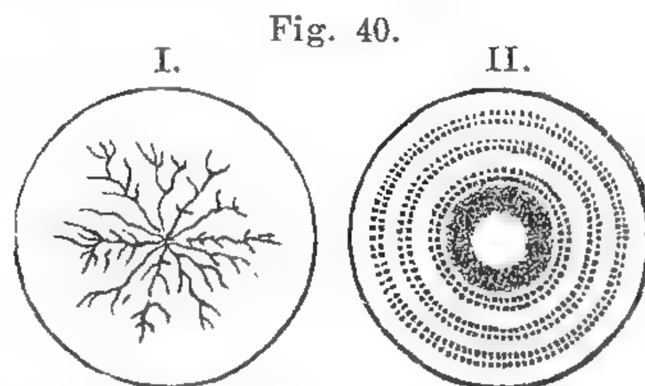
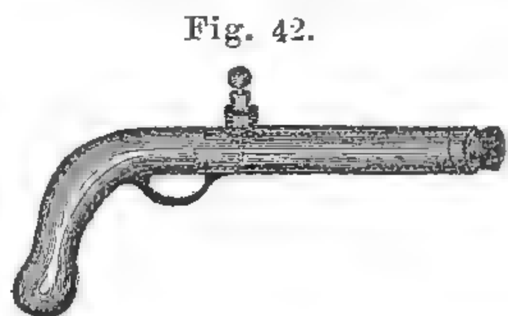


Fig. 40.

7. Die **elektrische Sichel** (Fig. 41) ist ein Messingdraht mit zugespitzten Enden, in der Form eines lateinischen S, und hat, gleich einer Magnetnadel, in der Mitte ein kleines Hütchen, das auf einer feinen, lotrechten Metallspitze ruht; aus den Drahtspitzen strömt die Elektrizität in die Luft aus, die Luftteilchen werden gleich elektrisch mit der Sichel, stofsen sie darum ab und bewegen sie rückwärts.

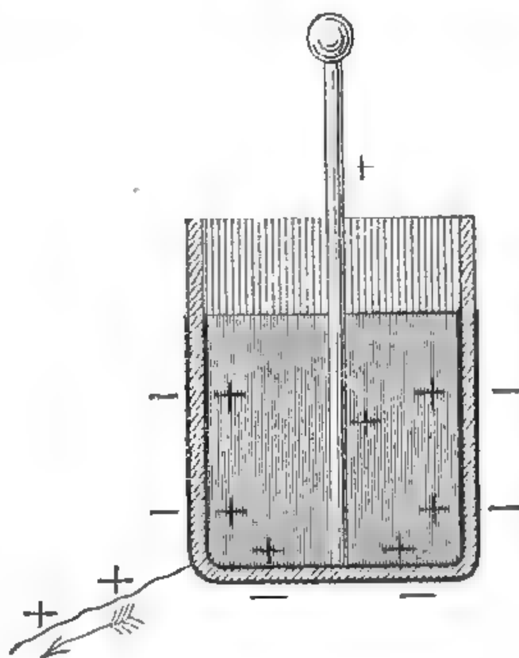

Fig. 41.

8. Elektrische Wärmeerscheinungen. Grofses Aufsehen machte es, als man 1744 zuerst in Berlin Schwefeläther durch den elektrischen Funken **entzündete.** Später fand man, dafs auch Harzstaub und noch leichter ein Gemenge von chlorsaurem Kali und Schwefelantimon sich durch elektrische Funken entzünden lassen. **Durch den elektrischen Funken wird** daher **Wärme erregt.** Die **elektrische Pistole** (Fig. 42), in welcher der Funke von einem ringsum isolierten Metalldraht auf eine Stelle im Laufe der Pistole überspringt, ladet man mit Knallgas, einem leicht entzündlichen Gemenge von Wasserstoff und Sauerstoff, und schiefst sie durch einen elektrischen Funken ab.


Fig. 42.

§ 19. Die Kleistsche oder Leidener Flasche.

1. Dieselbe ist 1745 durch den Domdekan von Kleist zu Kammin in Pommern erfunden und auch 1746 durch einen Privatmann Cunäus zu Leiden hergestellt worden. Die Kleistsche oder Leidener Flasche (Fig. 43) ist ein 15 bis 30 cm hohes Glas, das, mit Ausnahme des oberen, 3 bis 6 cm breiten, gewöhnlich mit Bernsteinfirnis überzogenen Randes, inwendig und auswendig mit Stanniol belegt ist; in dem Glase ist durch Pappscheiben oder Metallfedern ein lotrechter Metallstab befestigt, welcher die innere Belegung berührt; er ragt über das Glas empor und trägt oben eine Metallkugel, den Knopf der Flasche.


Fig. 43.

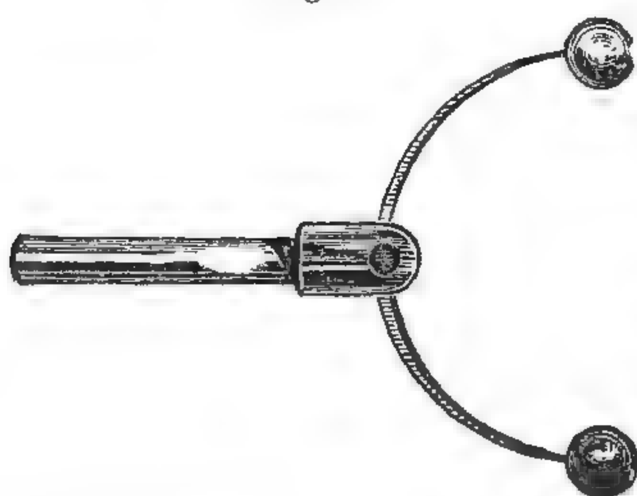
2. Um die Flasche zu **laden,** fafst man die äufsere Belegung mit der Hand an und läfst auf den Knopf vom Konduktor einer Elektrisiermaschine (oder dem Elektrophordeckel) Funken überspringen. Ist eine Anzahl Funken übergesprungen, so ist die innere Belegung viel stärker positiv elektrisch geworden oder hat einen höheren Ladungsgrad erlangt als der Konduktor, und die äufsere Belegung ist fast

ebenso stark negativ. **Beim Laden der Kleistschen oder der Verstärkungsflasche werden auf den beiden Belegungen die entgegengesetzten Elektrizitäten angesammelt.** Dieselben ziehen sich an, werden aber durch das isolierende Glas gehindert, sich zu vereinigen.

Wenn vom Konduktor ein Funke zum Knopf der Flasche überspringt, so wird ihre innere Belegung positiv elektrisch. Diese positive Elektrizität wirkt verteilend durch das Glas hindurch auf die äufsere Belegung, stöfst aus derselben positive Elektrizität fort, welche in den Erdboden abfliefst, zieht aber negative Elektrizität herbei und hält sie fest. Diese negative Elektrizität der äufseren Belegung zieht nun die positive Elektrizität im Innern der Flasche so nahe als möglich an sich heran, so dafs sie sich vornehmlich in der inneren Belegung und am Glase, weniger im Metallstabe und am wenigsten im Knopfe befindet. Daher hat der Knopf einen geringeren Elektrizitätsgrad als der Konduktor, und es kann aus diesem ein zweiter Funke zum Knopf der Flasche überspringen. Dadurch wird die positive Elektrizität der inneren Belegung verstärkt, stöfst aus der äufseren Belegung von neuem positive Elektrizität fort und zieht negative herbei. Die stärker gewordene negative Elektrizität der äufseren Belegung zieht die Elektrizität der inneren Belegung wieder möglichst nahe an sich heran, so dafs der Knopf der Flasche nur schwach elektrisch ist und mehr Funken zu ihm überspringen können. Auf beiden Belegungen werden die elektrischen Ladungen stärker; hat die Ladung im Knopf den gleichen Elektrizitätsgrad erreicht wie im Konduktor, so springen keine Funken mehr über, und die Flasche läfst sich durch diesen Konduktor nicht stärker laden (§ 14, 3b).

3. Die Entladung der Kleistschen Flasche wird dadurch herbeigeführt, dafs man zwischen der äufseren Belegung und dem Knopf der inneren Belegung eine leitende Verbindung herstellt. Berührt man mit einer Hand die äufsere Belegung und mit der anderen den Knopf der Flasche (nur bei einer kleinen Flasche ratsam), so vereinigen sich die beiden Elektrizitäten, sie nehmen ihren Weg durch den menschlichen Körper, und man empfindet, hauptsächlich in den Gelenken der Hände und Arme, einen **elektrischen Schlag**, eine Zuckung der Muskeln, die ihren Grund in einer Einwirkung der Elektrizitäten auf die Nerven hat. Der Schlag wird von einem kräftigen Funken und einem Knall begleitet. Wenn mehrere Personen einen Kreis bilden, indem sie sich die Hände geben, und die erste die Flasche an ihrer äufseren Belegung hält, die letzte den Knopf berührt, so fühlen alle einen elektrischen Schlag in demselben Augenblick. Will man die Verstärkungsflasche entladen, ohne den Schlag zu erhalten, so bedient man sich des **Entladers** (Fig. 44), eines halbkreisförmig gebogenen Drahtes, dessen Mitte mit einem Glasgriff und dessen Enden mit Kugeln versehen sind; man legt eine Kugel an die äufsere Belegung und bringt die andere an den Knopf der Verstärkungsflasche. **Bei der Entladung der Kleistschen Flasche vereinigen sich die auf beiden Belegungen angesammelten Elektrizitäten.** Man kann eine Verstärkungsflasche, ohne einen Schlag zu erhalten, auch **allmählich entladen,** wenn man sie auf den Tisch stellt und, ohne die äufsere Belegung zu berühren, nacheinander viele kleine Funken aus dem Knopfe zieht, oder indem man die Flasche isoliert und abwechselnd aus der inneren und der äufseren Belegung Funken zieht.

Fig. 44.

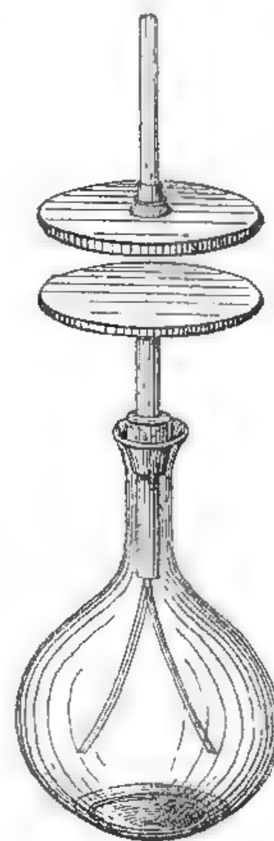


§ 20. Der Kondensator.

Der Kondensator dient dazu, Elektrizität von kleinem Elektrizitätsgrad so anzusammeln, dafs sie nachweisbar wird. Auf ein Elektroskop wird oben statt des Knopfes eine ebene, gefirnifste Messingplatte, die Kollektorplatte, geschraubt. Auf diese Platte läfst sich die gleichartige Kondensatorplatte, welche mit einem isolierenden Gla·griff versehen ist, aufsetzen (Fig. 45). Von einem elektrischen Körper von geringem Elektrizitätsgrad läfst sich der Kollektorplatte durch Berührung der ungefir-

nifsten Unterseite nur so lange Elektrizität zuführen, bis die Platte, der Draht und die Goldblättchen mit dem herangebrachten elektrischen Körper gleichen Elektrizitätsgrad haben. Diese Elektrizität ist aber zu schwach, um die Blättchen des Elektroskops zum Auseinandergehen zu bringen. Die geringe Menge Elektrizität, welche der Kollektorplatte zugeführt worden ist, ruft aber eine elektrische Verteilung in der aufgesetzten Kondensatorplatte hervor und zieht die ungleichnamige Influenzelektrizität in die der Kollektorplatte zugewendete Seite der Kondensatorplatte. Durch Berühren mit dem Finger wird die abgestofsene Influenzelektrizität von der Kondensatorplatte entfernt. Weil die entgegengesetzten Elektrizitäten auf den beiden durch die Firnifsschichten gegeneinander isolierten Platten sich anziehen, befinden sie sich auf den einander zugewandten Flächen der Platten in gröfserer Dichte, während die übrigen Teile der Platten von Elektrizität fast freibleiben. Daher kann von dem elektrischen Körper mit geringem Elektrizitätsgrad auf die Kollektorplatte von neuem Elektrizität übertreten; auch diese ruft Verteilung in der Kondensatorplatte hervor und wird durch die angezogene Influenzelektrizität der Kondensatorplatte gebunden, von welcher wieder die abgestofsene Influenzelektrizität durch Berührung entfernt wird. Dadurch ist die ungleichnamige Elektrizität im Kondensator verstärkt worden und zieht die Elektrizität der Kollektorplatte möglichst nahe heran, so dafs abermals gleichnamige Elektrizität von niedrigem Elektrizitätsgrade auf die im übrigen fast von Elektrizität freie Kollektorplatte übertreten kann. Ist das Ansammeln der Elektrizität auf der Kollektorplatte lange genug fortgesetzt worden, so wird die Kondensatorplatte entfernt. Die bisher in der oberen Seite der Kollektorplatte gebundene und verdichtete Elektrizität wird nun frei, verbreitet sich auf den Metallteilen des Elektroskops und erzeugt einen Ausschlag der Blättchen. Erfunden hat den Kondensator Volta im Jahre 1782.

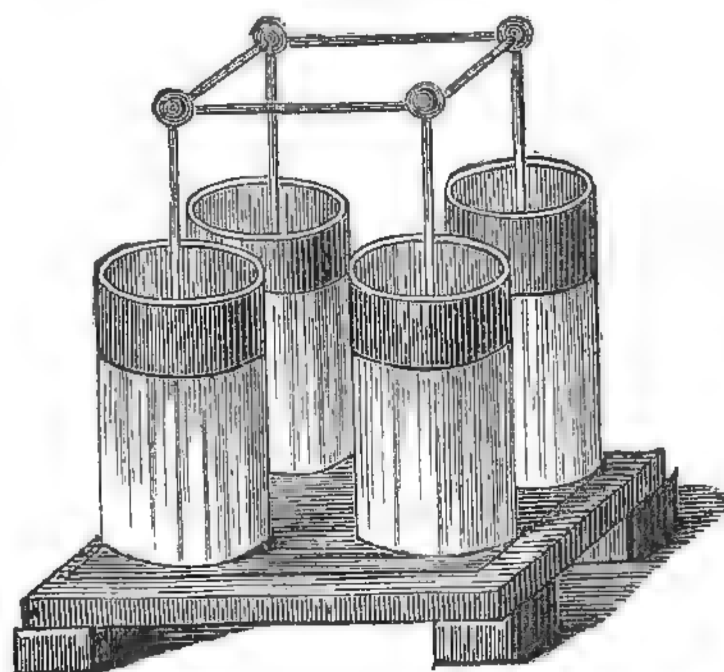
Fig 45.



§ 21. Die elektrische Batterie.

Eine Zusammenstellung von Kleistschen Flaschen, die in einem Kasten mit metallenem Boden stehen, während die Knöpfe ihrer inneren Belegungen durch Drähte verbunden sind, nennt man eine **elektrische Batterie** (Fig. 46). Die Entladungsschläge einer Batterie haben auffallend starke Wirkungen; Pappscheiben oder ein Spiel Karten werden durchbohrt, mit Wasser gefüllte Glasröhren gesprengt, und Holz wird zersplittert. Schiefspulver wird, wenn man in die Leitung einen weniger guten Leiter einschaltet und dadurch die Entladung verlangsamt, durch den Funken einer Batterie entzündet; dünner Eisendraht wird glühend und in geschmolzenen Kügelchen umhergeworfen; Gold wird in Glas eingeschmolzen. Vögel und andere kleine Tiere werden augenblicklich getötet, während der Schlag einer Batterie bei Menschen Betäubungen und Lähmungen zur Folge haben kann.

Fig. 46.



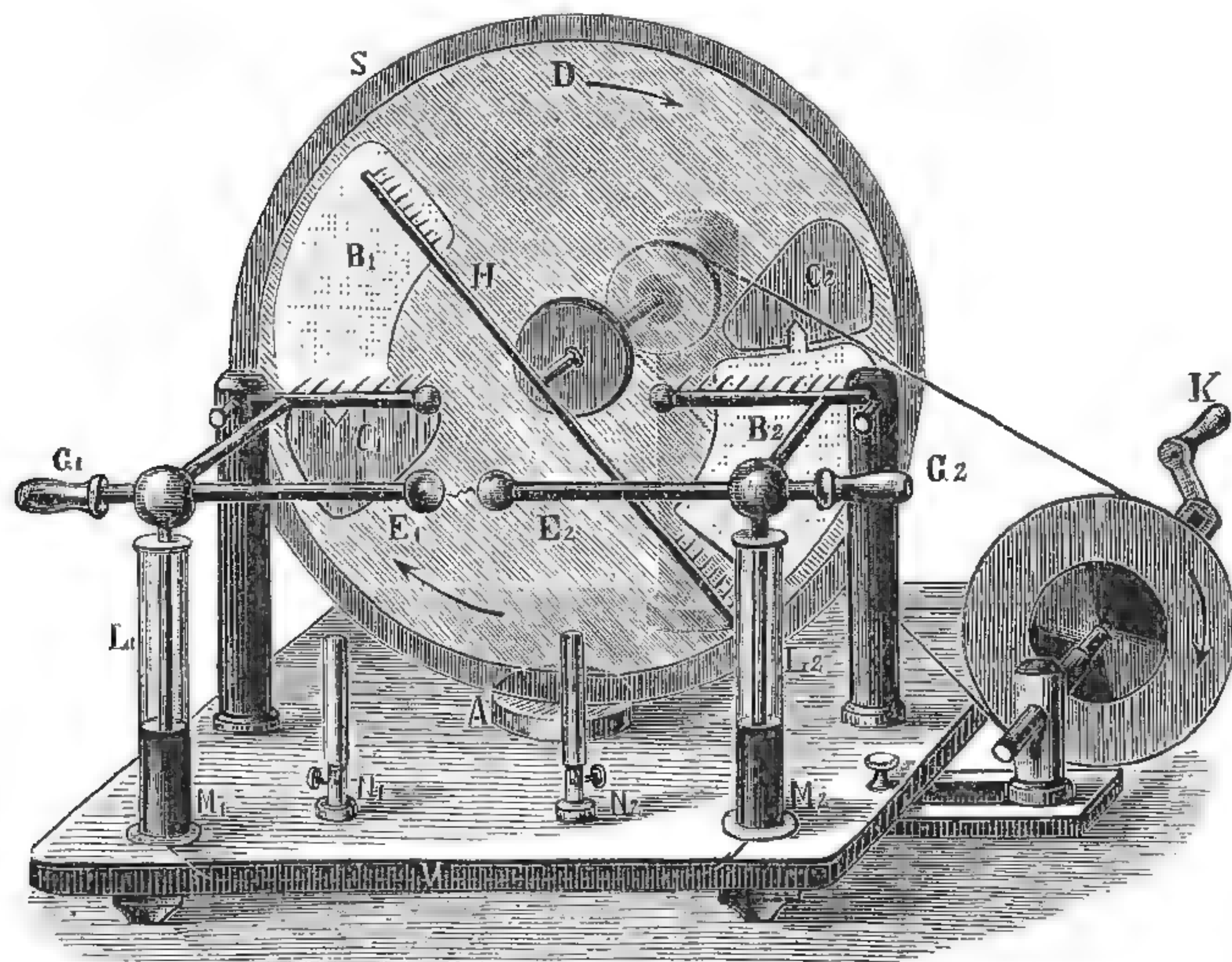
§ 22. Die Influenzelektrisiermaschine.

1. Die Maschine. Durch eine Kurbel K kann mit Hilfe einer Schnur ohne Ende (Fig. 47) eine an einer wagerechten Achse aus Hartgummi befestigte gefirnifste Glasscheibe D in sehr rasche Drehung versetzt werden. Dicht hinter dieser drehbaren Scheibe befindet sich eine zu ihr parallele zweite Glasscheibe S, die fest ist und an zwei gegenüberliegenden Stellen C_1 und C_2 etwa unter 30° verlaufende, nicht geöffnete Ausschnitte besitzt. Aufserdem ist die feste Scheibe neben diesen Öffnungen, von diesen her in der Drehrichtung der beweglichen Scheibe, auf der der beweglichen Scheibe abgewendeten Seite mit zwei Papierbelegungen B_1 und B_2 beklebt, von denen aus je

eine Papierzunge in den Ausschnitt der festen Scheibe hineinragt und der beweglichen Scheibe nahekommt. Dicht vor der drehbaren Scheibe stehen den wagerechten Enden der Papierbelegungen der festen Scheibe gerade gegenüber zwei Metallkämme, welche ihre scharfen Spitzen der drehbaren Scheibe zuwenden. Diese Metallkämme sind an isolierenden Säulen befestigt und laufen nach vorn in zwei wagerechte Messingstäbe aus, welche vorn Messingkugeln tragen, durch welche sich zwei andere Messingstäbe hin- und herschieben lassen, die aufsen die isolierenden Griffe G_1 und G_2 tragen, nach innen aber mit Messingkugeln E_1 und E_2 versehen sind, die sich mit Hilfe der Stäbe zusammenschieben und auseinanderziehen lassen. Jede der die verschiebbaren Messingstäbe umfassenden Kugeln ist noch mit der inneren Belegung einer Leidener Flasche L_1 und L_2 verbunden, die unmittelbar unter der betreffenden Messingkugel steht. Die äufseren Belegungen dieser Leidener Flasche stehen vermittels der Messingscheiben M_1 und M_2, die durch den Kupferdraht V verbunden sind, in leitender Verbindung.

2. Die Wirkungsweise. Die Messingkugeln werden dicht zusammengeschoben, und die Scheibe D wird gedreht, während dicht an die Belegung B_1 ein elektrisierter Hartgummistab gehalten wird. Nach kurzer Zeit gehen Fünkchen zwischen den wenig auseinandergezogenen Messingkugeln über. Wird weiter gedreht und werden die Kugeln langsam immer weiter auseinandergezogen, so entsteht ein lebhafter Funkenübergang zwischen den Kugeln, weil der Konduktor E_1 negativ, der Konduktor E_2 positiv elektrisch ist, wovon man sich leicht überzeugt, wenn man mit Hilfe einer Probekugel von beiden Konduktorkugeln Elektrizität auf Goldblattelektroskope bringt.

Fig. 47.



Die Erklärung ist in kurzen Zügen folgende. Die negative Elektrizität, welche auf die Papierbelegung B_1 gebracht worden ist, wirkt verteilend auf die Metallmasse der zusammengeschobenen Konduktoren, zieht positive Elektrizität in die Spitzen des Kammes, der der Belegung B_1 gegenübersteht, und stöfst die negative Elektrizität in die Spitzen des der Belegung B_2 gegenüberstehenden Kammes. Wegen der Spitzenwirkung fliefst von beiden Kämmen Elektrizität auf die gedrehte Scheibe, so dafs diese Scheibe vorn auf der oberen Hälfte mit positiver, auf der unteren Hälfte mit negativer Elektrizität geladen wird. Die oben und vorn mit positiver Elektrizität geladene Scheibe kommt nun von obenher in die Nähe der Papierbelegung B_2, bewirkt in dieser eine Verteilung und zieht aus ihr negative Elektrizität heraus, welche durch die Papierspitze auf die Rückseite der gedrehten Scheibe strömt, so dafs die gedrehte Scheibe nun auch hinten auf der unteren Hälfte negativ elektrisch wird.

Die Belegung B_2, welche durch die zurückbleibende Influenzelektrizität positiv elektrisch geworden ist, wirkt auch verteilend auf die Metallmassen der Kämme und Konduktoren und unterstützt daher die verteilende Wirkung der negativ geladenen Belegung B_1. Von der positiv geladenen Belegung B_2 angezogen, von der negativ geladenen Belegung B_1 abgestofsen, strömt nun eine gröfsere Menge negativer Elektrizität von den Spitzen des Kammes gegenüber B_2 auf die gedrehte Scheibe, neutralisiert die bei der Drehung hervorgebrachte positive Ladung derselben und macht die Scheibe auf der unteren Hälfte vorn negativ elektrisch. Daher ist die gedrehte Scheibe auf ihrer unteren Hälfte sowohl vorn als hinten negativ elektrisch. Kommt die negativ elektrische Scheibe von unten her in die Nähe der Belegung B_1, so wirkt sie auf diese Belegung auch verteilend und stärkt die negative Ladung dieser Belegung, indem sie aus der Papierspitze positive Elektrizität herauszieht, welche auf die Rückseite der gedrehten Scheibe strömt, diese neutralisiert und positiv elektrisch macht. Da die von dem B_1 gegenüberliegenden

Kamme abströmende positive Elektrizität die vordere und obere Seite der gedrehten Scheibe auch positiv lädt, so ist die Scheibe auf der oberen Hälfte auf beiden Seiten positiv elektrisch. Nach kurzer Zeit ist das Abströmen der positiven Elektrizität von E_2 nach E_1 und das Abströmen der negativen Elektrizität von E_1 nach E_2 so stark, daſs die Vereinigung der ungleichnamigen Elektrizitäten auch durch eine Luftstrecke hindurch erfolgt, wenn die Konduktorkugeln voneinander entfernt werden. Auf die Wirksamkeit zweier Hilfskämme *H*, die an einer Metallstange angebracht sind, soll hier nicht eingegangen werden. Die beiden Leidener Flaschen bewirken, falls sie eingeschaltet sind, stärkere Entladungen, die dann seltener erfolgen, weil sich die Flaschen erst entgegengesetzt geladen haben müssen, ehe ein Funkenübergang, der auch die Flaschen mit entlädt, erfolgt.

§ 23. Übersicht über die Wirkungen der Reibungselektrizität.

Die Wirkungen der Reibungselektrizität sind: 1. **Mechanische** (Bewegungen, Durchbohrungen, Zersplitterungen und Schallerregung). Bewegungen leichter Körper können durch gegenseitige Anziehung ungleichnamig elektrischer Körper oder durch gegenseitige Abstoſsung gleichnamig elektrischer Körper veranlaſst werden; Abstoſsung tritt auch bei Ausströmen von Elektrizität aus Spitzen in die Luft ein. Der Entladungsschlag einer Batterie durchbohrt oder zertrümmert Glasscheiben und zersplittert Holzplatten. Indem die elektrischen Funken die Luft erschüttern, erregen sie einen Schall, ein Knistern oder einen Knall. 2. **Physiologische Wirkungen** oder Wirkungen auf den menschlichen Körper sind der unbedeutende Schmerz beim Überspringen von Funken auf die Hand, der elektrische Schlag bei einer Flaschenentladung durch den menschlichen Körper und die gefährliche Erschütterung des Nervensystems bei Entladung einer Batterie. 3. **Lichtwirkungen** sind der elektrische Funke, Büschellicht, Glimmlicht und das Licht in verdünnter Luft. 4. **Wärmewirkungen.** Feste, flüssige und luftförmige Körper, welche leicht brennen oder explodieren, werden durch elektrische Funken entzündet und feine Drähte durch eine Batterie bis zum Glühen und Schmelzen erhitzt. 5. Zu den **chemischen Wirkungen** der Elektrizität gehören die Umbildung von atmosphärischem Sauerstoff in Ozon und die durch Elektrizität herbeigeführten Verbrennungen. 6. **Magnetische Wirkungen.** Wenn man in eine Glasröhre, welche mit besponnenem Kupferdraht umwickelt ist, eine Stahlnade legt und durch die Drahtwindungen den Entladungsschlag einer Verstärkungs flasche hindurchgehen läſst, so wird die Nadel magnetisch.

§ 24. Entdeckung der Elektrizität in den Gewitterwolken.

Nachdem man die Wirkungen der elektrischen Batterie kennen gelernt hatte, unternahm es der Nordamerikaner Franklin, die schon 1746 von Professor Winkler in Leipzig ausgesprochene Vermutung zu beweisen, daſs **das Gewitter eine elektrische Erscheinung sei** und Blitze mächtige elektrische Funken. Im Jahre 1752 lieſs er, als ein Gewitter drohte, einen Drachen steigen, welcher mit einer eisernen Spitze versehen war, band unten an seine hanfene Schnur einen Schlüssel und erhielt aus diesem elektrische Funken. Darauf brachte er auf seinem Hause eine oben zugespitzte isolierte Metallstange an und befestigte an ihrem unteren Ende eine Glocke und daneben eine zweite, welche durch eine gute Leitung mit dem Erdboden verbunden war; zwischen den Glocken hing eine Metallkugel an einem seidenen Faden; dies Glockenspiel ertönte, so oft die Elektrizität der Luft stark genug war. Der Professor Richmann in Petersburg, der auf seinem Hause eine isolierte Eisenstange, ohne Ableitung nach dem Erdboden, hatte aufstellen lassen, wurde vom Blitz, welcher die Stange traf, erschlagen. Der Franzose De Romas aber wiederholte die Versuche mit dem Drachen, umwickelte die Schnur desselben mit Draht, hängte unten an dieselbe einen Metallzylinder und

hielt diesen mittels einer seidenen Schnur; beim Herannahen eines Gewitters wurden von dem Zylinder Strohhalme in weiter Entfernung angezogen, und laut knallende Funken von 9 bis 12 Fufs Länge und 1 Zoll Dicke sprangen gegen die Erde.

§ 25. Entstehung und Arten der Gewitter.

1. Vor einem Gewitter findet eine schnelle Wolkenbildung statt. Es bilden sich plötzlich dunkle, getürmte Haufenwolken (§ 199), die schnell an Umfang zunehmen. Bei heifsem Wetter werden die unteren Luftschichten stark erwärmt, werden leichter und steigen rasch empor. Durch den aufsteigenden Luftstrom werden die Wasserdämpfe, die bei warmem Wetter in Menge vorhanden sind, in grofse Höhen hinaufgeführt, wo sie sich wegen des geringeren Druckes ausdehnen. Zu jeder Ausdehnung wird aber Wärme verbraucht, und daher tritt Abkühlung ein (§ 163, Anm.); infolge der Abkühlung verdichten sich die Wasserdämpfe (§ 180) und verwandeln sich in feine Tröpfchen, welche Haufenwolken bilden, die sich meist oben mit einem breiten Wolkenschirm bedecken. Die Wolkenelektrizität kann, selbst bei demselben Gewitter, bald positiv, bald negativ sein; ihre Entstehung ist noch nicht sicher aufgeklärt. Nähert sich nun eine elektrische Wolke einer unelektrischen Wolke oder Gegenständen der Erdoberfläche, so bewirkt sie in diesen eine elektrische Verteilung und zieht die entgegengesetzte Elektrizität herbei. Sind die Elektrizitäten stark genug geworden, so vermag die dazwischen liegende Luft nicht mehr zu isolieren, und es tritt eine plötzliche Vereinigung und Ausgleichung der verschiedenen Elektrizitäten durch einen Blitz ein.

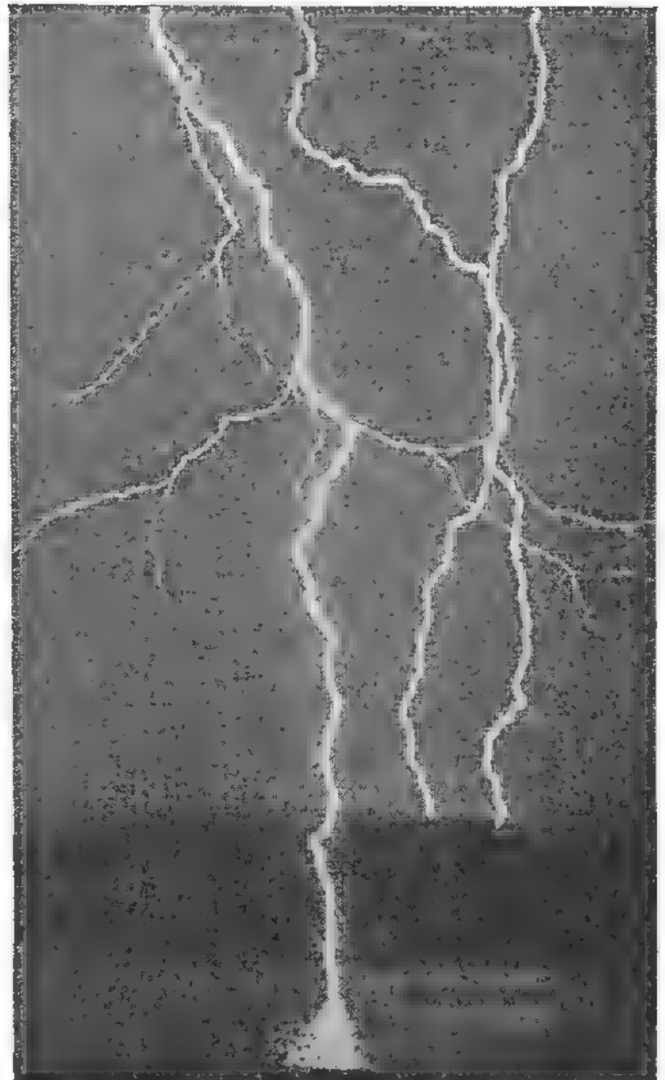
2. Man unterscheidet zwei Klassen von Gewittern, **Wärmegewitter und Depressionsgewitter.** Wärmegewitter sind sehr blitzreich, sie entstehen bei windstillem Wetter über einem nicht sehr ausgedehnten Streifen der Erdoberfläche, welcher ungewöhnlich stark erwärmt ist, so dafs über demselben Luft und Dämpfe lebhafter emporsteigen als sonst (§ 172). Depressionsgewitter oder Wirbelgewitter bilden sich bei uns am südöstlichen oder südlichen Rande einer gröfseren Barometerdepression; einer solchen Gegend führen die aus Süden kommenden Winde warme, dampfreiche, leichte Luft zu, welche das Bestreben hat, sich schnell nach oben zu bewegen.

§ 26. Der Blitz. Das Elmsfeuer.

Blitze sind grofsartige elektrische Lichterscheinungen. Man unterscheidet hauptsächlich Flächenblitze und Zickzackblitze. Bei den **Flächenblitzen** leuchtet plötzlich ein grofser Teil der Wolkenflächen; es folgt kein starker oder gar kein Donner; die Elektrizität strömt als Büschellicht aus von Wolke zu Wolke. Die **Zickzackblitze** sind den elektrischen Funken ähnlich; auf dieselben folgt ein starker, langer Donner; sie fahren grofsenteils von den Wolken zur Erde. Wegen ihrer ungemein schnellen Bewegung erleuchten die elektrischen Funken ihre ganze Bahn (§ 150, 4). Der Weg des Blitzes ist nicht scharf zickzackförmig, sondern gute Blitzphotographien beweisen, dafs der Weg des Blitzes mehr die Gestalt einer vielfach gekrümmten, langen Baumwurzel hat und auch solche Verästelungen besitzt (Fig. 48); indem nämlich der Blitz die vor ihm befindliche Luftmasse verdichtet, macht er sie zu einem schlechteren Leiter; die weniger dichte Luft daneben aber bietet ihm einen besser leitenden Weg dar; deshalb springt er von seinem bisherigen Weg ab und schlägt eine andere Richtung ein. Der Blitz trifft meistenteils hohe Gegenstände und folgt dabei den Körpern,

welche die Elektrizität am besten in die Erde leiten; schlechte Leiter werden beim Einschlagen zertrümmert, dünne Leiter geschmolzen; brennbare Körper werden, falls der Blitz durch schlechter leitende Stellen seiner Bahn an Geschwindigkeit verloren hat, entzündet; lebende Wesen werden betäubt oder getötet*). Das **Wetterleuchten** entsteht entweder durch die Blitze eines weit entfernten Gewitters, welche die Wolken beleuchten, oder durch Flächenblitze, denen kein Donner folgt. Sind die elektrisch geladenen Wolken der Erdoberfläche sehr nahe, wie im Gebirge oder im Winter in der Niederung, so kann es vorkommen, dafs die an der Erdoberfläche angesammelte Influenzelektrizität aus Spitzen der Mastbäume, Spitzen von Dachfirsten, selbst aus den emporgehaltenen Fingern der Menschen ruhig ausströmt. Die Erscheinung heifst das **Elmsfeuer**, sie entspricht dem Büschellicht oder Glimmlicht (§ 18, 5), je nachdem die die Influenz erzeugende Wolke negativ oder positiv geladen ist.

Fig. 48.



§ 27. Der Donner.

Der Donner entsteht durch die heftigen Erschütterungen der Luft, welche der Blitz verursacht. Die Luftmassen werden durch ihn auseinander geworfen und stürzen darauf gegeneinander. Wir hören den Donner später, als wir den Blitz sehen, weil der Schall sich viel langsamer verbreitet als das Licht (§ 123 und § 136); je mehr Zeit daher zwischen Blitz und Donner verfliefst, desto länger ist der Weg gewesen, den der Schall bis zu unserem Ohr zurückgelegt hat, und desto entfernter ist das Gewitter**). Wenn der Blitz in der Nähe einschlägt, so hört man den Donner als einfachen Donnerschlag. Ist aber der Blitz entfernter, so vernimmt man einen länger dauernden, rollenden Donner; die einzelnen Punkte der langen, vom Blitz durchlaufenen Bahn haben dann sehr verschiedene Entfernung von uns; zuerst gelangt ein Schall von den nächsten Punkten zu uns, etwas später von entfernteren, noch später von den entferntesten. Aufserdem bewirkt das Echo eine Verlängerung des Donners.

§ 28. Der Blitzableiter.

Die vornehmste **Vorsichtsmafsregel beim Gewitter** ist, sich von hohen und von gut leitenden Gegenständen möglichst fernzuhalten,

*) Es kommt vor, dafs bei einem Blitz Personen, die von demselben nicht getroffen sind, einen Schlag oder eine Muskelzuckung empfinden, welche den Tod herbeiführen kann. Schwebt in geringer Höhe über uns eine Gewitterwolke, so bewirkt sie in dem menschlichen Körper durch Verteilung eine Trennung beider Elektrizitäten. Entladet sich nun die Wolke durch einen Blitz, so hört die Verteilung auf und die getrennten Elektrizitäten des menschlichen Körpers vereinigen sich plötzlich wieder, ein Vorgang, welcher der Tätigkeit des Nervensystems ein Ende machen kann. Die plötzliche Wiedervereinigung der entgegengesetzten Influenzelektrizitäten eines Leiters wird **der elektrische Rückschlag** genannt.

**) Der Schall legt in 1 Sekunde einen Weg von 340 m zurück (16° C). Soviel Sekunden daher zwischen Blitz und Donner verfliefsen, so viel mal 340 m ist der Blitz entfernt.

sich daher nicht neben Türme oder einzeln stehende Bäume zu stellen und in den Häusern nicht in die Nähe gröfserer Metallmassen oder des Schornsteins, dessen Rufs und Rauch gute Leiter sind.

Den **Blitzableiter** erfunden hat Franklin 1753, zuerst hergestellt der Pfarrer Prokop Divisch 1754 in Mähren. Ein Blitzableiter besteht aus der Auffangestange; der Ableitung und der Erdplatte. Die Auffangestange ist eine 6 m lange, oben mit einer vergoldeten Spitze versehene Eisenstange, die auf dem höchsten Teile des Gebäudes lotrecht befestigt wird. Als Ableitung dient entweder ein Drahtseil oder eine dicke Eisenstange; dieselbe führt ohne Unterbrechung von dem unteren Ende der Auffangestange an der Aufsenseite des Gebäudes abwärts und tief in den Erdboden bis zur Erdplatte. Die Erdplatte ist verzinnt und besteht aus Kupfer oder Eisen, ist 1 qm grofs und liegt eingegraben in einer beständig feuchten Erdschicht, am besten in der Tiefe des Grundwassers. Die Wirkungsweise des Blitzableiters ist eine doppelte. Er verringert erstens durch die Wirkung der Spitze die Elektrizität der Gewitterwolke, weil aus der Spitze die entgegengesetzte Influenzelektrizität nach der Wolke hinströmt, sich mit der Elektrizität derselben vereinigt und sie zum Teil neutralisiert. Diese Wirkung des Blitzableiters ist aber wahrscheinlich sehr gering, weil sich der hohe Ladungsgrad der zum Blitzschlag führenden Elektrizität aufserordentlich rasch entwickelt. Schlägt zweitens dessenungeachtet der Blitz ein, so trifft er eine Auffangestange, weil sich in dieser die der Elektrizität der Wolke entgegengesetzte Influenzelektrizität vorzugsweise befindet, und wird, ohne dem Gebäude Schaden zu tun, durch die Ableitung in den Erdboden geleitet. Man nimmt gewöhnlich an, dafs ein Blitzableiter einen wagerechten Kreis schützt, dessen Durchmesser dreimal so grofs ist als die Länge der Auffangestange; so oft daher die dreifache Länge einer Auffangestange in der Länge des Gebäudes enthalten ist, so viel Auffangestangen sind nötig; dieselben müssen sämtlich durch Metallstreifen miteinander verbunden sein. Halb so grofs ist die Zahl der Ableitungen und Erdplatten.

2. Die elektrischen Ströme.

A. Die Entstehung der elektrischen Ströme durch chemische Vorgänge.

§ 29. Die Entdeckung des Galvanismus.

1. **Ludwig Galvani,** ein Arzt und Professor zu Bologna, beschäftigte sich seit längerer Zeit mit wissenschaftlichen Versuchen über Muskeln und Nerven der Frösche *). Eines Tages (1780) lagen unlängst getötete Frösche auf einem Tisch, auf dem eine Elektrisiermaschine stand. Wenn mit einem Messer mit metallenem Griffe der blofsliegende Nerv zweier Froschschenkel berührt und gleichzeitig durch eine andere Person aus der nicht weit entfernten Elektrisiermaschine ein Funke gezogen wurde, gerieten jedesmal die Froschschenkel in Zuckungen; es erschienen daher diese Zuckungen als Wirkungen der Elektrizität **). Nun wollte Galvani

*) Siehe Ostwalds Klassiker der Naturwissenschaften, Bd. 52, S. 72.

**) Jedesmal, wenn der Konduktor entladen wurde, trat im Körper des Gehilfen, der durch das Messer mit metallenem Griffe in leitender Verbindung mit den Nerven des Froschpräparates stand, ein elektrischer Rückschlag (§ 26, Anmerkung) ein, der sich auf den Froschschenkel übertrug und eine Zuckung veranlafste. Galvani aber kannte die Erscheinung des Rückschlags noch nicht.

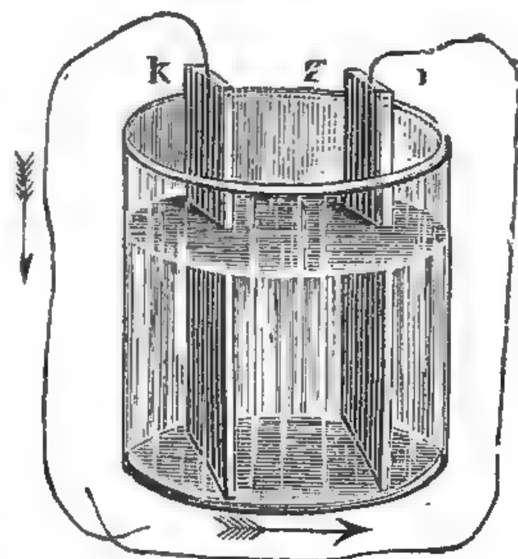
sehen, ob auch die Elektrizität der Luft dieselben Erscheinungen bewirkte, befestigte an den entblöfsten Nerven der Froschschenkel einen Messinghaken und hängte sie mit demselben an das eiserne Gitter seines Gartens; es erfolgten die heftigsten Zuckungen, so oft die Froschschenkel das Gitter berührten. Und doch zeigte sich die Luft unelektrisch; darum meinte Galvani, es käme die Elektrizität aus den Fröschen selbst und ströme von den Nerven durch das Metall zu den Muskeln über. Er lehrte, die Muskeln und Nerven aller lebendigen Geschöpfe seien, wie die innere und äufsere Belegung einer Verstärkungsflasche, mit verschiedenen Elektrizitäten geladen, unsere Bewegungen und unser ganzes Leben seien daher Wirkungen der Elektrizität.

2. Der Lehre Galvanis trat **Alexander Volta,** Professor zu Pavia, entgegen. Er zeigte, dafs an den Fröschen die Zuckungen eintraten, wenn man Nerven und Muskeln mit verschiedenen sich berührenden Metallen berührte, und erfand Zusammenstellungen von zwei Metallen und einer Flüssigkeit, durch welche ein elektrischer Strom hervorgebracht wird, den Voltaschen Becherapparat (Fig. 49) und im Jahre 1800 die Voltasche Säule (Fig. 57 S. 34).

§ 30. Die Entstehung der chemisch-elektrischen oder galvanischen Ströme.

1. Stellt man in ein Glas mit verdünnter Schwefelsäure eine Zinkplatte, so sieht man, dafs sich Gasblasen bilden, und nach einiger Zeit bemerkt man, dafs das Zink sich auflöst. Es treten chemische Vorgänge ein; das Zink (*Zn*) verdrängt aus der Schwefelsäure (H_2SO_4) den Wasserstoff (H_2) und vereinigt sich mit dem Schwefelsäurerest (SO_4) zu Zinksulfat ($ZnSO_4$). Mit Hilfe eines äufserst empfindlichen Elektrometers mit aufgeschraubtem Kondensator (§ 20) läfst sich zeigen, dafs Zink in Berührung mit verdünnter Schwefelsäure negativ, die Säure von gleichem Ladungs- oder Elektrizitätsgrade (§ 14) positiv elektrisch wird. Es ist das die Folge der chemischen Vorgänge; es wird chemische Arbeit geleistet, durch welche Elektrizität erzeugt wird, ganz ähnlich wie durch die mechanische Arbeit beim Drehen einer Elektrisiermaschine Elektrizität hervorgebracht wird.

Fig. 49.



Gesetz: Durch chemische Vorgänge, besonders durch Lösung eines Metalles in Säuren, werden positive und negative Elektrizität von gleichem Elektrizitätsgrade erregt.

Statt des Zinks können auch andere Metalle, z. B. Eisen, Zinn, Blei, Nickel, Kupfer, Silber, Platin und auch Kohle, statt der Säure auch Lauge oder eine Salzlösung benutzt werden.

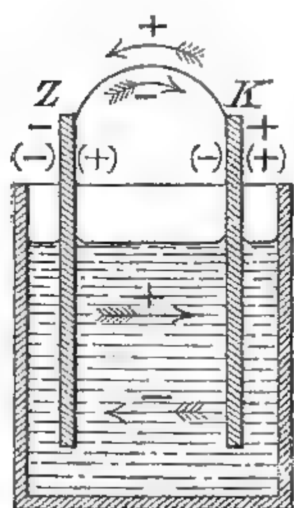
2. Taucht man in verdünnte Schwefelsäure eine Zinkplatte *z* (Fig. 49) und eine Kupferplatte *k*, ohne dafs sie sich berühren, so läfst sich mit Hilfe des Kondensators und eines Elektrometers nachweisen, dafs das hervorragende Ende des Zinks negative und das obere Ende des Kupfers positive Elektrizität von gleichem Elektrizitätsgrade besitzen. Die in den chemischen Vorgängen begründete Ursache für die Erzeugung der ungleichnamigen Elektrizitäten heifst die **elektromotorische Kraft**; durch sie werden beide Elektrizitäten, die vorher vereinigt waren (§ 13, 2), getrennt; die negative wird in das obere Ende des Zinks und die positive in das des Kupfers getrieben. Nach Versuchen, die auch mit anderen Metallen angestellt worden sind, gilt als

Gesetz: Werden Zink und ihm gegenüber ein anderes Metall oder Kohle in verdünnte Schwefelsäure gestellt, so wird infolge der chemischen Vorgänge das

hervorragende Ende des Zinks negativ und das des anderen Metalles oder der Kohle von gleichem Elektrizitätsgrade positiv elektrisch.

Ist die Flüssigkeit verdünnte Schwefelsäure, so ist die Elektrizitätserregung am stärksten, wenn sich Zink in der Säure befindet; sie ist aber um so geringer, je weiter in der oben angegebenen Metallreihe das Metall nach rechts steht. Der Ladungsgrad der durch Zink und verdünnte Schwefelsäure allein erregten Elektrizitäten ist zehnmal so grofs als bei Verwendung von Kupfer und Schwefelsäure. Stehen beide Metalle, ohne sich zu berühren, in verdünnter Schwefelsäure, so treibt die zwischen dem Kupfer und der verdünnten Schwefelsäure tätige elektromotorische Kraft die von ihr erzeugte positive Ladung der Säure auch mit in das Zink, wodurch der zehnte Teil der negativen Ladung des Zinks neutralisiert wird, so dafs blofs eine negative Ladung übrig bleibt, deren Elektrizitätsgrad nur $^{9}/_{10}$ des ursprünglichen Elektrizitätsgrades des freien Endes des Zinks ist. Dafür treibt aber auch die zwischen dem Zink und der Säure wirksame elektromotorische Kraft die von ihr erzeugte positive Ladung der Säure bis in das freie Ende des Kupfers. Die im Kupfer von der elektromotorischen Kraft Säure-Kupfer erzeugte geringe Ladung negativer Elektrizität wird völlig neutralisiert, und es bleibt ein Überschufs von positiver Elektrizität, deren Elektrizitätsgrad neunmal gröfser ist als der ursprünglich negative Elektrizitätsgrad des Kupfers, so dafs die freien Enden des Kupfers und des Zinks gleiche Elektrizitäts- oder Ladungsgrade besitzen, aber ungleichnamig geladen sind (Fig. 50).

Fig. 50.



3. Die aus der Flüssigkeit hervorragenden Enden der beiden Metalle heifsen die Pole; der Zinkpol ist der negative, der Kupferpol der positive Pol. Man lötet oder schraubt an jeden Pol einen Kupferdraht. Diese beiden Drähte heifsen Schliefsungs- oder Leitungs- oder Poldrähte. Bringt man die blank gefeilten Enden der beiden Schliefsungsdrähte miteinander in Berührung, und entfernt man sie dann sehr wenig voneinander, so erscheint zwischen ihnen ein kleiner galvanischer Funke. Es bewegen sich die Elektrizitäten durch die Schliefsungsdrähte; die negative fliefst vom Zinkpol durch die Schliefsungsdrähte zum Kupferpol und in der Flüssigkeit von dem eingetauchten Teil des Kupfers zum Zink. Die positive Elektrizität dagegen bewegt sich von dem Kupferpol durch die Schliefsungsdrähte zum Zinkpol und in der Flüssigkeit von dem eingetauchten Teil des Zinks zum Kupfer. Die beiden Elektrizitäten sind von gleichen Mengen, vereinigen sich und heben sich gegenseitig auf. Dadurch wird es möglich, dafs beide Elektrizitäten immer von neuem nachfliefsen. Wenn daher der Zinkpol einer galvanischen Vorrichtung mit dem Kupferpol durch eine gute Leitung verbunden ist, so wird diese von beiden Elektrizitäten in entgegengesetzten Richtungen durchflossen. **Die entgegengesetzte Bewegung und Vereinigung beider Elektrizitäten in einem Leiter oder die durch einen Leiter fliefsende Elektrizität wird ein galvanischer oder elektrischer Strom genannt.** Solange der chemische Vorgang zwischen Zink und Flüssigkeit dauert, so lange dauern auch die elektrischen Ströme. Die durch chemische Vorgänge entstehenden elektrischen Ströme sind daher andauernd.

4. Eine Zusammenstellung von zwei Metallen oder von Metall und Kohle mit einer Flüssigkeit, welche andauernde galvanische Ströme hervorbringt, heifst **ein galvanisches Element oder eine galvanische Kette.** Das galvanische Element und die ganze Leitung, welche von galvanischen Strömen durchflossen wird, bilden zusammen einen Stromkreis. Da der Stromkreis von beiden Elektrizitäten in entgegengesetzten Richtungen durchflossen wird, gibt es einen positiven und einen negativen Strom. Spricht man aber kurzweg von dem elektrischen Strom, so ist der positive Strom gemeint. Es ergibt sich als

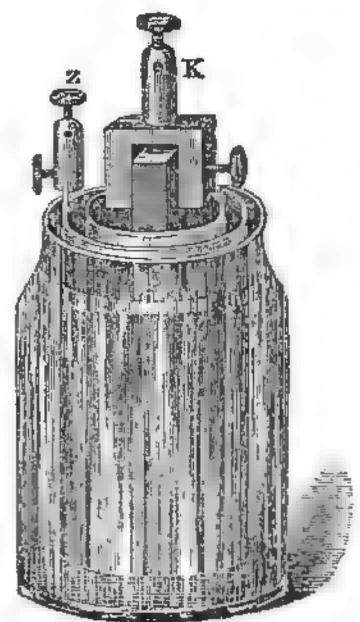
Gesetz: Der (positive) Strom eines galvanischen Elementes durchfliefst den Leitungsdraht in der Richtung nach dem Zink hin, durchströmt das Element aber in der Richtung vom Zink hinweg.

5. Die durch die elektrischen Ladungen des freien Endes des Kupfers und des Zinks hervorgerufenen Ladungsgrade oder Elektrizitätsgrade sind gleich. Da die Ladungen aber aus ungleichnamigen Elektrizitäten bestehen, ist ein **Unterschied der Elektrizitätsgrade** (Potentialunterschied) vorhanden. Wird das Zink durch Berührung mit dem Finger nach der Erde geleitet, so hat es den Elektrizitätsgrad Null; dafür erweist sich am Elektroskop der Elektrizitätsgrad des freien Kupferendes verdoppelt. Ebenso ist es, wenn das freie Ende des Kupfers abgeleitet wird, mit dem freien Ende des Zinks. **Der Unterschied der Ladungsgrade der beiden freien Enden der Metalle ist** also **von unveränderlicher Gröfse** und **dient** daher **als Mafs für die Gröfse der elektromotorischen Kraft des galvanischen Elements.**

§ 31. Die konstanten galvanischen Elemente.

1. **Konstante Elemente.** Die aus Zink, Kupfer und verdünnter Schwefelsäure bestehenden Elemente bringen einen Strom hervor, welcher zwar anfangs hinreichend stark ist, aber bald schwächer wird. Die Ursache hierfür ist folgende: Durch die chemische Einwirkung des Zinks wird die Schwefelsäure (H_2SO_4) in die beiden Bestandteile Wasserstoff (H_2) und den sogenannten Schwefelsäurerest (SO_4) zerlegt. Während das Schwefelsäuremolekül selbst unelektrisch ist, ist nach der Trennung des Moleküls der Wasserstoff positiv und der Schwefelsäurerest negativ geladen. Die Leitung des Stromes durch die Flüssigkeit besteht nun wahrscheinlich in nichts anderem, als dafs die von den Schwefelsäuremolekülen abgetrennten, negativ geladenen Schwefelsäurereste in der Flüssigkeit zum Zink hinwandern, sich dort mit dem Zink zu Zinksulfat oder schwefelsaurem Zink ($ZnSO_4$) verbinden und dabei ihre negative Ladung an das Zink abgeben. Das Zinksulfat ist in dem Wasser der verdünnten Säure löslich und daher für das Auge unsichtbar. Die den Schwefelsäurerest bildenden und in der Flüssigkeit zum Zink hinwandernden Moleküle sind in der Flüssigkeit die Träger des negativen Stromes, die sogenannten negativen Ionen. Die von der Schwefelsäure abgetrennten Wasserstoffmoleküle sind positiv geladen und wandern nach der Kupferplatte; es sind die Träger des positiven Stromes in der Flüssigkeit, die positiven Ionen. Der Wasserstoff kann sich aber mit dem Kupfer nicht chemisch verbinden, setzt sich in Form von Bläschen an das Kupfer an und ruft wegen seiner positiven Ladung eine elektromotorische Gegenkraft in der Flüssigkeit hervor, welche den ursprünglichen Strom rasch schwächt. Solche Elemente heifsen **inkonstante Elemente.** Soll ein Element einen Strom liefern, dessen Stärke längere Zeit hindurch dieselbe bleibt, so mufs der Wasserstoff entfernt werden. Zu diesem Zweck wird in dem Element ein Körper angebracht, der imstande ist, den Wasserstoff chemisch zu binden und ihn unschädlich zu machen, z. B. Kupfervitriol, Salpetersäure, Chromsäure, Braunstein. Ein galvanisches Element, dessen elektromotorische Kraft längere Zeit hindurch dieselbe bleibt, heifst ein **konstantes Element.** Es gibt konstante Elemente mit einer Tonzelle und ohne Tonzelle.

Fig. 51.



2. **Konstante Elemente mit einer Tonzelle.** Die Tonzelle ist ein Becher aus porösem Ton, welcher flüssige und luftförmige Körper hindurchläfst. Derselbe wird in ein Glas gestellt, das mehrere Centimeter weit ist. In den Raum zwischen Tonzelle und Glas giefst man verdünnte Schwefelsäure; welche durch Zugiefsen von einem Gewichtsteil Säure zu zehn Teilen Wasser bereitet ist. In der

verdünnten Schwefelsäure steht ein mit Quecksilber überzogener Zinkzylinder, welcher die Tonzelle umschliefst.

I. Das älteste, 1836 erfundene **Daniellsche oder Zinkkupferelement** enthält aufserdem innerhalb der Tonzelle einen Kupferzylinder in einer Lösung von Kupfervitriol (Fig. 56 S. 33). Der in der Flüssigkeit nach dem Kupfer hinwandernde Wasserstoff (H_2) trifft in der Wandung der Tonzelle mit dem Kupfervitriol ($CuSO_4$) zusammen, verdrängt das Kupfer, bildet Schwefelsäure (H_2SO_4) und macht das Kupfer Cu frei, welches nun mit der positiven Ladung versehen zum Kupferzylinder wandert und seine positive Ladung an diesen abgibt, indem es sich daran ansetzt. Daher wird der Kupferzylinder immer schwerer, solange der Strom fliefst.

II. Das **Bunsensche oder Zinkkohle-Element** (Fig. 51) bilden Zink in verdünnter Schwefelsäure und innerhalb der Tonzelle Retortenkohle in unverdünnter Salpetersäure.

Die Salpetersäure gibt Sauerstoff ab, der sich mit dem Wasserstoff zu Wasser verbindet.

III. Das **Grovesche oder Zinkplatin-Element** enthält Zink in verdünnter Schwefelsäure und innerhalb der Tonzelle ein Platinblech in Salpetersäure. Das Bunsensche und das Grovesche Element haben eine gröfsere elektromotorische Kraft und stärkere Wirkungen als das Daniellsche, werden aber wegen des Verbrauchs von Zink und Säure für die Anwendung im grofsen zu kostspielig.

3. **Konstante Elemente ohne Tonzelle.**

I. Ein konstantes Element ohne Tonzelle ist das **Meidingersche Zinkkupfer-Element** (Fig. 52). Auf dem Boden eines gröfseren, oben offenen zylindrischen Ge-

Fig. 52.

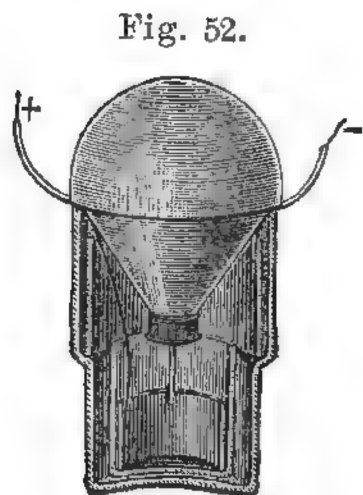


Fig. 53.

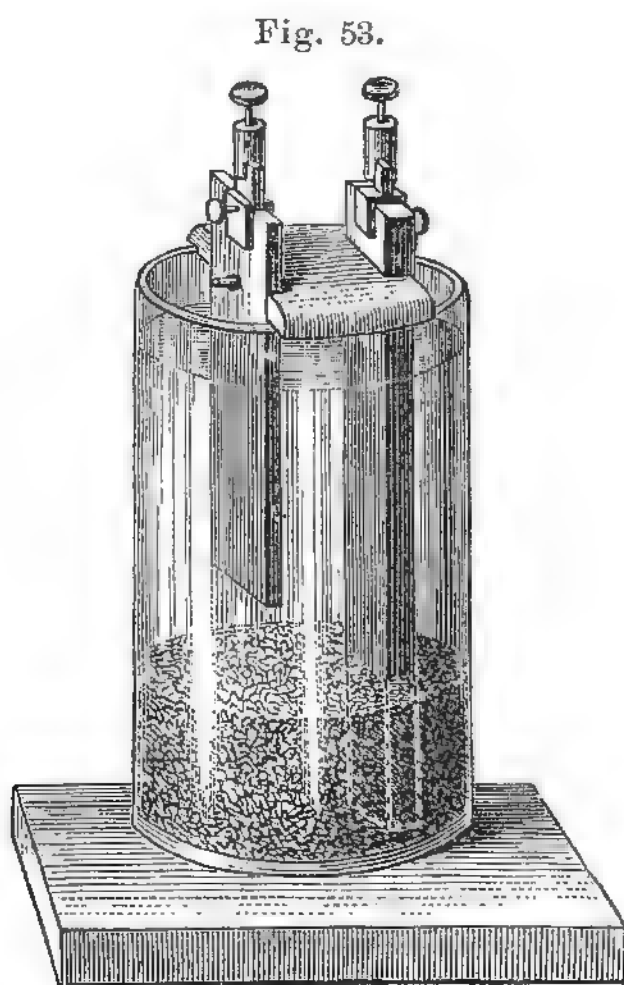
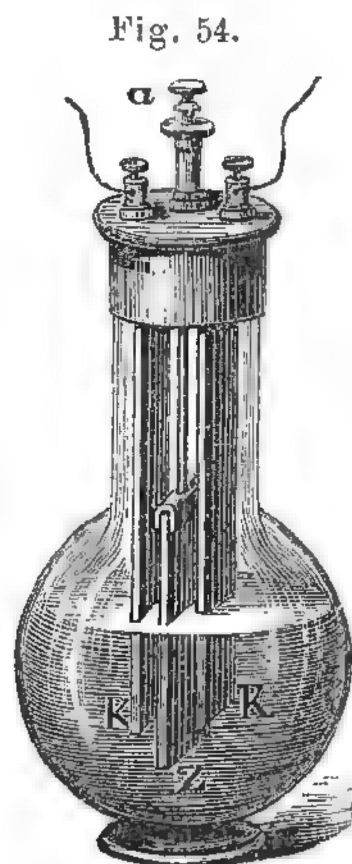


Fig. 54.



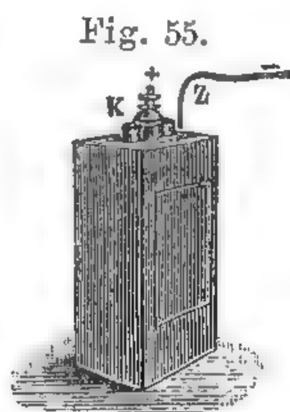
fäfses steht ein mit Kupfervitriollösung gefüllter gläserner Napf, in dem sich ein kurzer Kupferzylinder befindet. Vom Kupferzylinder aus führt ein mit Kautschuk überzogener Leitungsdraht oben über das grofse Gefäfs hinaus. Oberhalb des Glasnapfes hat das gröfsere Glasgefäfs einen Vorsprung, auf welchem ein Zinkzylinder steht, an dem der andere Leitungsdraht befestigt ist. Der Zinkzylinder ist von einer Bittersalzlösung (schwefelsaures Magnesium) umgeben, die wegen ihres geringeren spezifischen Gewichtes ohne besonderes Trennungsmittel über der Kupfervitriollösung steht. In das Glasnäpfchen ragt die Röhre einer Sturzflasche

hinein, welche mit Kristallen von Kupfervitriol und Bittersalzlösung gefüllt ist, so daſs sich die Kupfervitriollösung gesättigt erhält. Das Element wird im Reichstelegraphendienst gebraucht.

II. Das **Braunstein-Element** von Leclanché (Fig. 53) wird gleichfalls häufig ohne Tonzelle angefertigt. Es besteht aus einer Kohlenplatte, deren unterer Teil in einem Gemenge von Braunstein- und Kohlenstücken steht, und einer kurzen Zinkplatte, die an dem Deckel des Glases hängt. In das Glas ist eine Lösung von Salmiak gegossen. Diese beiden Elemente haben keine groſse elektromotorische Kraft, wirken aber etwa ein Jahr lang und werden für Klingeln und Telegraphen verwandt. Es gibt noch andere Formen des Leclanchéschen Elementes.

III. Für Versuche ist besonders geeignet das **Chromsäure-Element** in Flaschenform (Fig. 54). Eine Flasche mit weitem Halse wird halb gefüllt mit einer Lösung von doppeltchromsaurem Kali in Wasser, in welche so viel Schwefelsäure gegossen ist, daſs 1 Raumteil Säure zu 10 Raumteilen der Lösung kommt. An dem Ebonitdeckel der Flasche sind zwei Kohlenplatten befestigt, die stets bis in die Flüssigkeit hinabreichen. Eine halb so lange Zinkplatte ist an dem unteren Ende eines Messingstabes befestigt und läſst sich mittels desselben aus der Flüssigkeit emporziehen und festschrauben, wenn das Element nicht in Tätigkeit sein soll.

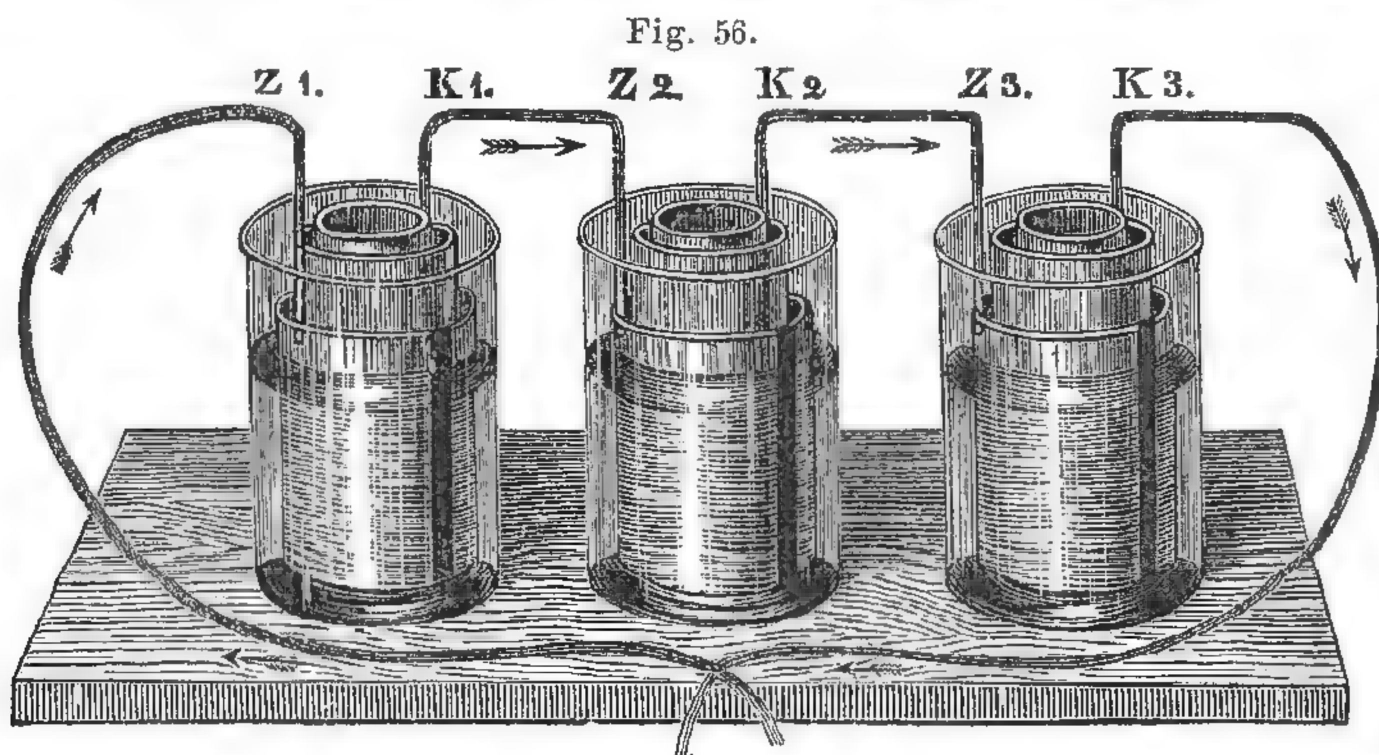
Fig. 55.



IV. Bequem in der Handhabung und namentlich zum Transporte sind die sogenannten **Trockenelemente**, welche gewöhnlich Zink und Kohle enthalten, die in einer mit chemisch wirksamer Flüssigkeit getränkten porösen Füllmasse (Gips, Kreide, Ton) stehen (Fig. 55).

4. **Konstante Batterien.** Verbindet man die ungleichnamigen Pole eines galvanischen Elementes durch einen Schlieſsungsdraht, so ist das Element geschlossen, und durch den Schlieſsungsdraht flieſst der elektrische Strom vom positiven zum negativen Pol (§ 30, 4). Unter **Stromstärke** versteht man die Elektrizitätsmenge, die in 1 Sekunde durch irgendeinen Querschnitt der Leitung flieſst.

Fig. 56.



Die Stromstärke wird im allgemeinen um so gröſser werden können, je mehr Elektrizität aus dem Element nach den Polen getrieben wird, oder je gröſser die elektromotorische Kraft eines Elementes ist. Die elektromotorische Kraft eines Elementes ist nicht groſs. Man kann eine gröſsere elektromotorische Kraft erhalten, wenn man mehrere Elemente zu einer Batterie vereinigt. Eine **galvanische Batterie** (von hintereinandergeschalteten Elementen) ist eine Zusammenstellung von galvanischen Elementen, bei denen der positive Pol (Kupfer, Kohle, Platin) jedes Elementes mit dem negativen Pol (Zink) des fol-

genden Elementes leitend verbunden ist. Der negative Pol des ersten und der positive Pol des letzten Elementes sind die Pole der Batterie (Fig. 56).

Sind drei Daniellsche Elemente zu einer Batterie hintereinander geschaltet, so verbreitet sich der elektrische Ladungszustand des Kupferpols des ersten Elementes K_1 auch auf das zweite und dritte Element; ebenso tritt der Ladungszustand des zweiten Kupferpoles K_2 durch Leitung zum dritten Element über, so dafs der Ladungsgrad des Kuperpoles K_3 dreimal so grofs wird als der Ladungsgrad des Kupferpoles nur eines Elementes. Entsprechend ist durch Übertritt der Ladungen der Zinkpole Z_3 und Z_2 der übrigen Elemente auf den äufsersten Zinkpol Z_1 dessen Ladungsgrad und daher auch der Unterschied der Ladungsgrade zwischen Z_1 und K_3 auf das Dreifache gewachsen.

Daher gilt der Satz: Die elektromotorische Kraft einer Batterie von n hintereinandergeschalteten Elementen ist n mal so grofs wie die elektromotorische Kraft eines Elementes.

5. Obwohl man also die elektromotorische Kraft durch Hintereinanderschalten von Elementen erheblich steigern kann, so ist doch der auf diese Weise an den Polen erzeugte Ladungsgrad immer noch viel kleiner als der Ladungsgrad der durch Reibung erzeugten Elektrizität. Die galvanische Elektrizität läfst sich daher erstens viel leichter isolieren als Reibungselektrizität, zweitens breitet sie sich aber auch in guten Leitern der Elektrizität schwerer aus als die Reibungselektrizität; sie findet einen **Leitungswiderstand.** Die Stärke eines galvanischen Stromes hängt also sowohl von der Gröfse der elektromotorischen Kraft als auch von der Gröfse des Leitungswiderstandes ab (§ 38).

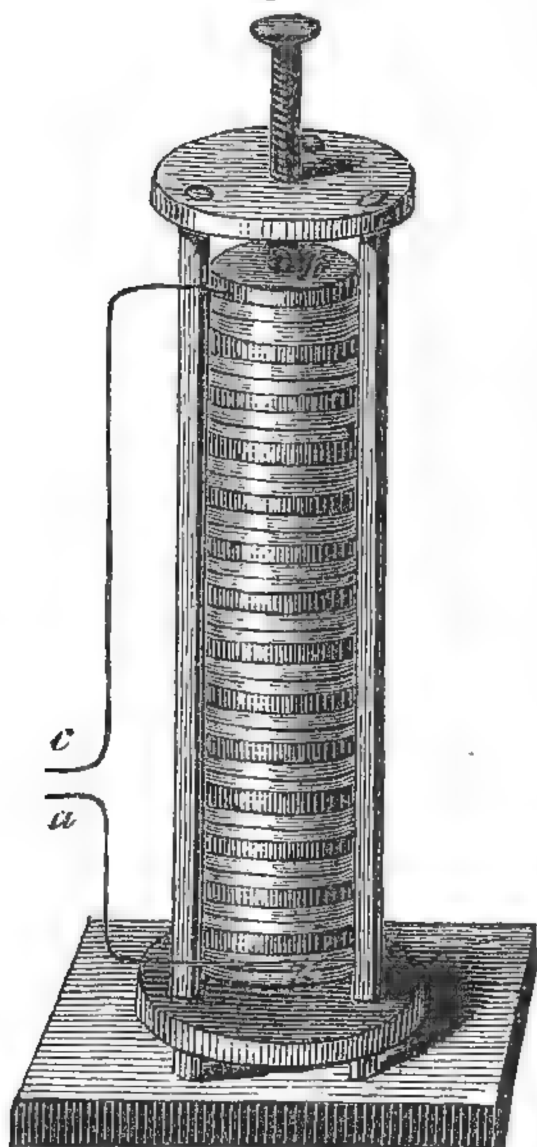
B. Wirkungen des elektrischen Stromes.

a) Wirkungen innerhalb des Stromkreises.

§ 32. I. Physiologische Wirkungen des elektrischen Stromes.

1. Um die physiologischen Wirkungen des elektrischen Stromes oder seine Wirkungen auf den menschlichen Körper hervorzubringen, kann man sich entweder einer galvanischen Batterie oder auch der Voltaschen Säule bedienen, welche sich wegen ihrer ungefährlich schwachen Ströme besonders für derartige Versuche eignet und geschichtliche Beachtung verdient.

Fig. 57.



Die **Voltasche Säule** ist eine inkonstante Batterie. Auf eine Zinkplatte wird eine mit verdünnter Schwefelsäure oder Bittersalzlösung getränkte Tuchscheibe und auf diese eine Kupferplatte gelegt; auf diese legt man wieder Zink, eine feuchte Tuchscheibe und Kupfer; solcher Elemente mögen 20 übereinanderliegen. Jede Kupferplatte ist mit der folgenden Zinkplatte durch unmittelbare Berührung leitend verbunden, am besten mit ihr verlötet. An die unterste Zinkplatte und an die oberste Kupferplatte sind Schliefsungsdrähte gelötet, an welchen man je einen etwa 12 cm langen Hohlzylinder aus Messing befestigt (Fig. 57). Diese Messingzylinder dienen als Handgriffe.

Während man den einen Messingzylinder in der einen benetzten Hand hält, berührt man mit dem anderen eine benetzte Stelle der Stirn in der Nähe eines Auges und nachher eine benetzte Stelle eines Ohres. Bei dem ersten Versuch nimmt man einen Lichtschein wahr; es ist das eine Folge davon, dafs der Sehnerv erregt wird. Beim zweiten Versuch vernimmt man ein dumpfes Geräusch; es wird der Gehörnerv erregt.

Gesetz: Die Wirkung des galvanischen Stromes auf den menschlichen Körper besteht in einer Erregung der Nerven.

2. Wenn man eine Voltasche Säule aus 50 oder mehr Elementen aufgebaut hat und nun mit der linken Hand den einen, mit der rechten den anderen Schliefsungsdraht berührt, so empfindet man in Händen und Armen einen unbedeutenden Schmerz und eine Zuckung. Der Schmerz entsteht aus einer Erregung von Empfindungsnerven, und die Zuckung oder unwillkürliche Muskelbewegung entsteht aus einer Erregung von Bewegungsnerven. Dieselbe Wirkung des Stromes, welche die galvanische Erschütterung genannt wird, tritt ein, wenn man die Schliefsungsdrähte losläfst. Berührt man beide Drähte mit den Händen, so ist der eine Pol der Säule mit dem anderen durch leitende Körper verbunden, und der Strom fliefst vom Kupferpol durch den einen Schliefsungsdraht, durch den menschlichen Körper und den anderen Draht zum Zinkpol; der Strom oder Stromkreis ist geschlossen, der Strom ist hergestellt. Führt keine Leitung aufserhalb der Säule von dem einen Pol zum andern, so ist die Säule offen, und der Strom oder Stromkreis ist geöffnet oder unterbrochen. Die galvanische Erschütterung tritt ein, wenn der Strom geschlossen wird und anfängt, den menschlichen Körper zu durchfliefsen, desgleichen, wenn der Strom geöffnet wird und aufhört, den menschlichen Körper zu durchfliefsen.

Gesetz: Die galvanische Erschütterung tritt ein, wenn ein galvanischer Strom den menschlichen Körper zu durchfliefsen anfängt oder zu durchfliefsen aufhört.

§ 33. II. Licht- und Wärmewirkungen des elektrischen Stromes.

1. **Der galvanische Funke.** Bringt man die blanken Enden der Schliefsungsdrähte eines galvanischen Elementes miteinander in Berührung, und entfernt man sie dann sehr wenig voneinander, so erscheint zwischen ihnen ein kleiner **galvanischer Funke,** welcher durch das Glühen losgerissener Metallteilchen entsteht. Deutlicher erscheinen die Funken, wenn man den einen Schliefsungsdraht fest gegen eine Feile drückt und den anderen auf der Feile hin und her schiebt.

2. **Das galvanische Glühen.** Läfst man den Strom eines galvanischen Elementes durch einen sehr dünnen Eisendraht fliefsen, so wird derselbe glühend. Feine Kohlenfäden und dünne Eisen- oder Platindrähte werden durch den hindurchgeleiteten Strom einer Batterie aus grofsen Elementen weifsglühend, oder die Drähte schmelzen. Dickere Drähte und solche aus besser leitenden Metallen werden in geringerem Mafse erwärmt.

Durch den elektrischen Strom werden die Metalldrähte und Kohlenfäden, welche er durchfliefst, erwärmt, und zwar desto mehr, je stärker der Strom ist, je dünner die Drähte sind, und je unvollkommener sie leiten.

Anwendung findet dies **galvanische Glühen** in den **elektrischen Glühlichtlampen,** welche in einem luftleer gemachten, verschlossenen Glasgefäfs einen Kohlenfaden enthalten. Die Glühlichtlampe wurde erfunden 1855 von dem in Hannover geborenen Deutschamerikaner Göbel, für den Gebrauch im grofsen zuerst 1879 hergestellt von Edison; der Kohlenfaden besteht aus reiner Zellulose (Stoff der Holzfaser), die unter Luftabschlufs verkohlt ist, und hat die Form einer Schlinge oder eines Hufeisens (Fig. 58). Die Enden des Kohlenfadens sind an kurzen Platindrähten befestigt, welche in den Boden der Glasbirne eingeschmolzen sind und zur Leitung des Stromes durch die Glaswand dienen. Auer von Welsbach stellt jetzt elektrische Glühlampen her, die anstatt des Kohlenfadens in der luftleeren Glasbirne einen Draht aus dem schwer schmelzbaren Metall Osmium enthalten. Diese Osmiumlampen brauchen bei gleicher Leuchtkraft 39 % der elektrischen Stromarbeit einer Glühlichtlampe mit Kohlenfaden. In der Glühlichtlampe, welche Professor Nernst zu Göttingen 1899 erfunden hat, bildete ursprünglich ein kurzes Stäbchen aus Magnesia den leuchtenden Körper; jetzt

stellt man den Leuchtkörper der **Nernstlampe** (Fig. 59) aus seltenen Erden, Thoroxyd, Ystriumoxyd, Zirkonoxyd, Ceroxyd her; diese Leuchtkörper leiten den Strom erst, wenn sie vorher erwärmt sind, wozu bei kleineren Lampen ein brennendes Streichholz ausreicht; bei gröfseren Anlagen ist der Leuchtkörper von einem spiralförmigen Platindraht umgeben, durch den der Strom zuerst fliefst. Der Platindraht ist von einer Porzellanhülle umgeben und diese wird mit ihm glühend. Dabei erwärmt sich der Leuchtkörper und nimmt den Strom auf, der dann nicht mehr durch den Platindraht fliefst, weil er selbsttätig von der Lampe ausgeschaltet wird. Der leuchtende Körper ist von dem Luftzutritt nicht abgeschlossen. Ferner lassen sich durch das galvanische Glühen, indem man sehr lange Schliefsungsdrähte anwendet und einen kurzen, feinen Eisendraht durch Pulver führt, aus weiter Ferne Minen sprengen und Torpedos, die man in Wasser versenkt hat.

3. **Das elektrische Bogenlicht.** Wenn man an den Schliefsungsdrähten einer aus 10 bis 100 Bunsenschen Elementen bestehenden Batterie (oder einer Dynamomaschine, § 46, 5) Kohlenstäbe befestigt, die Spitzen derselben in gegenseitige

Fig. 58.

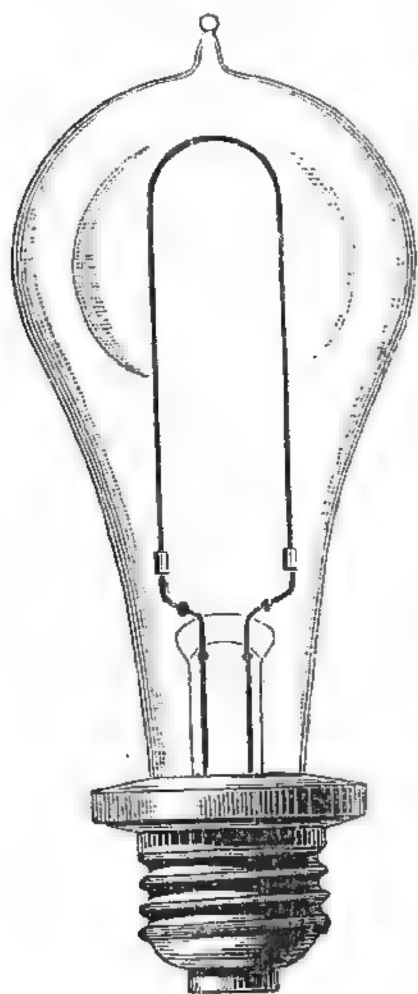


Fig. 59.

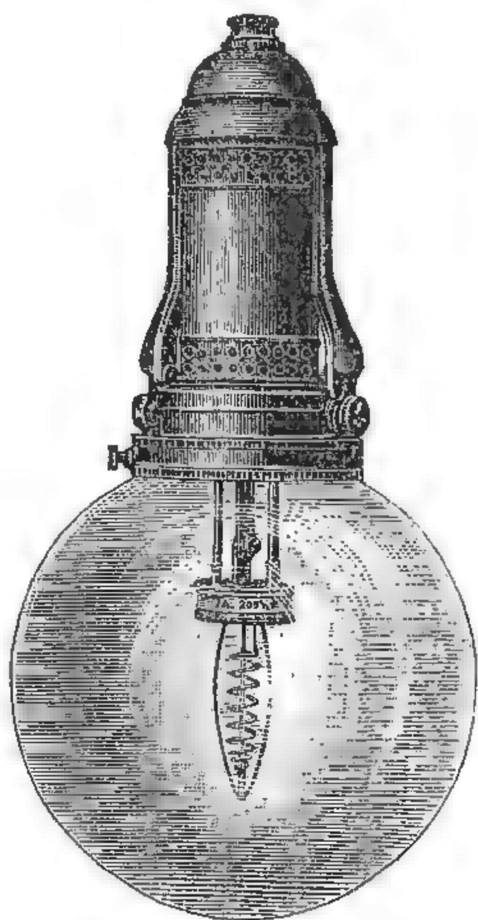
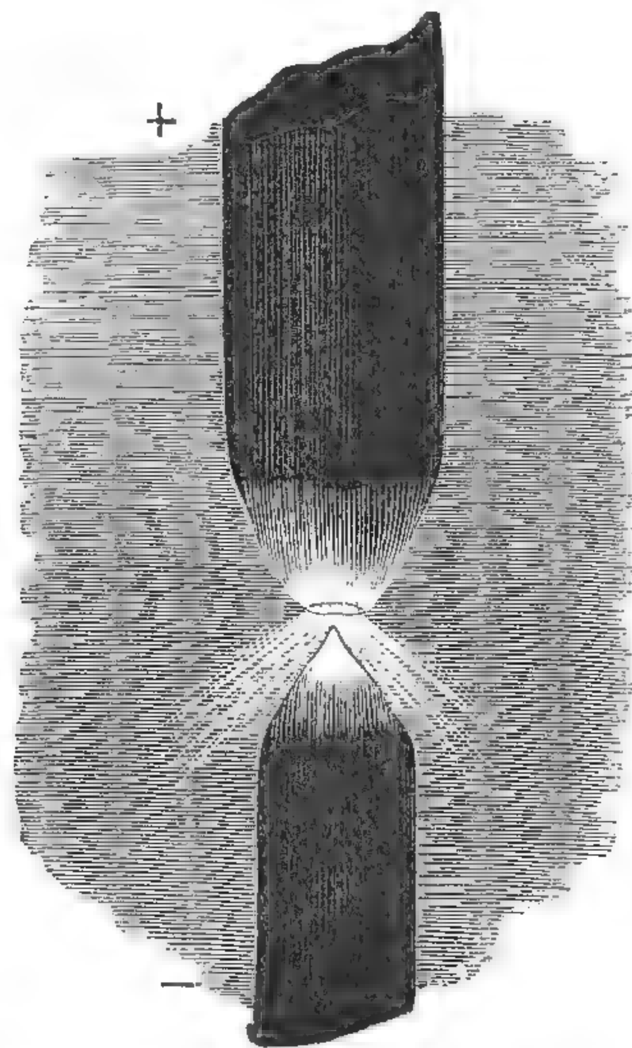


Fig. 60.



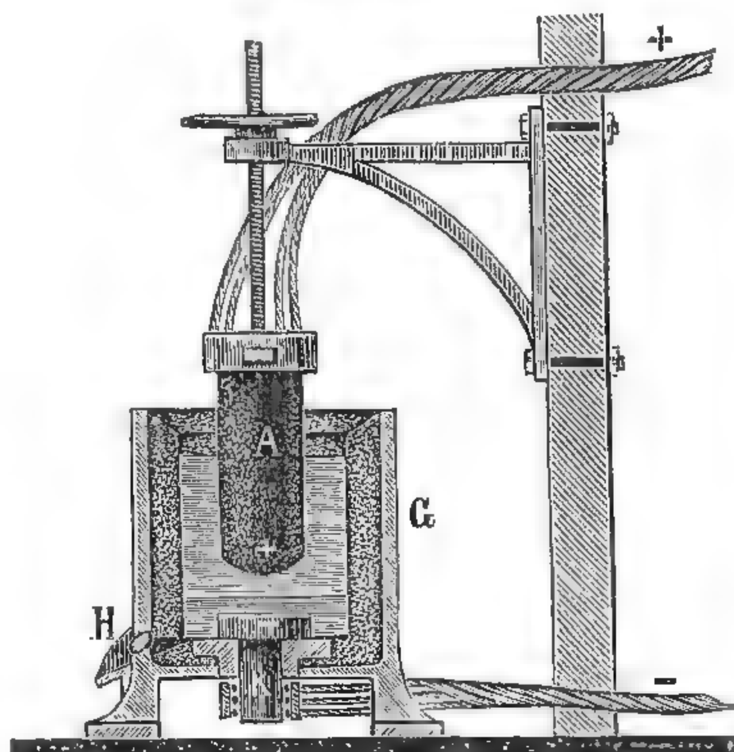
Berührung bringt und dann wenig voneinander entfernt, so werden die Kohlenspitzen weifsglühend und hell leuchtend, und es bildet sich zwischen ihnen ein glänzender **galvanischer Flammen- oder Lichtbogen** (nach dem Erfinder auch Davyscher Lichtbogen genannt, 1821), bestehend aus losgerissenen Kohlenteilchen, die durch den Strom von der einen Kohle zur anderen übergeführt werden. Wenn der Strom seine Richtung beibehält (Gleichstrom), so höhlt sich die obere Kohle, welche der positive Strom zuerst durchfliefst, zu einem hellleuchtenden Krater aus, der seinen Lichtkegel nach unten und der Seite wirft (Fig. 60). Daher eignet sich das Gleichstrombogenlicht besonders zur Strafsenbeleuchtung. Weil die positive Kohle doppelt so rasch abbrennt wie die negative, so gibt man ihr doppelten Querschnitt; auch durchbohrt man dieselbe und füllt sie fest mit Kohlenpulver aus, um die Bildung des hellleuchtenden Kraters zu erleichtern (Dochtkohle). Tritt der positive Strom rasch wechselnd bald in die eine, bald in die andere Kohle zuerst ein (Wechselstrom), so brennen die Kohlenkerzen gleichmäfsig ab, man macht sie daher gleich stark; es bildet sich kein Krater. Das elektrische Bogenlicht ist das hellste Licht, das wir hervorbringen können.

Der Flammenbogen bildet sich auch zwischen Metall und Metall, jedoch mit geringerer Ausdehnung.

Der Ingenieur Bremer hat neuerdings Bogenlampen eingeführt, deren Kohlenstäbe mit Metallsalzen (Calcium, Strontium, Magnesium) und mit einem geringen Zusatze von Fluor- und Bromsalzen imprägniert sind. Die Kohlen (2 positive und 2 negative) sind gegeneinander geneigt und erzeugen einen langen, wagerechten Flammenbogen von rötlicher oder gelber Färbung und großer Leuchtkraft. Diese Flammenbogenlampen geben eine größere Helligkeit als die gewöhnlichen Bogenlampen und zeichnen sich durch einfachen Mechanismus aus, haben aber grelles Licht.

In dem galvanischen Flammenbogen entwickelt sich eine Wärme von 2000 bis 4000 Grad; sie ist an der zuerst vom positiven Strom durchflossenen Kohle weit größer als an der anderen. Angewandt wird diese hohe Temperatur zu großartigen elektrischen Schmelzungen, Lötungen und Schweißungen, z. B. an großen metallenen Rädern, Wagenachsen, weiten Röhren, Dampfzylindern. Ferner können durch auf elektrischem Wege erzeugte hohe Temperaturen Elemente mit großer chemischer Verwandtschaft voneinander getrennt, und Elemente, deren gegenseitige Verwandtschaft äußerst gering ist, zur Vereinigung gebracht werden. Solches geschieht in elektrischen Öfen, z. B. bei der Gewinnung des Aluminiums, des Kieselkohlenstoffs, des Kohlenstoffcalciums. Fig. 61 stellt einen **elektrischen Ofen** dar, wie er zur Aluminiumgewinnung gebraucht wird. Ein eisernes Gefäß *G* ist innen mit Holzkohle ausgekleidet und enthält am Boden einen Metallzylinder *K*, welcher als negativer Pol dient. Den positiven Pol bildet ein Kohlenblock *A*. Der Strom, durch Kabel zugeführt und in mächtigen Dynamomaschinen (§ 46, 5) erzeugt, zerlegt reine Tonerde (Aluminiumoxyd), die durch Zusatz von Kryolith flüssig geworden ist, unmittelbar in metallisches Aluminium und Sauerstoff. Während sich das Aluminium am Boden des Gefäßes ansammelt, von wo es abgelassen werden kann, wird der Sauerstoff von dem glühenden Kohlenblock, der den Strom zuführt, zu Kohlenoxyd oxydiert.

Fig. 61

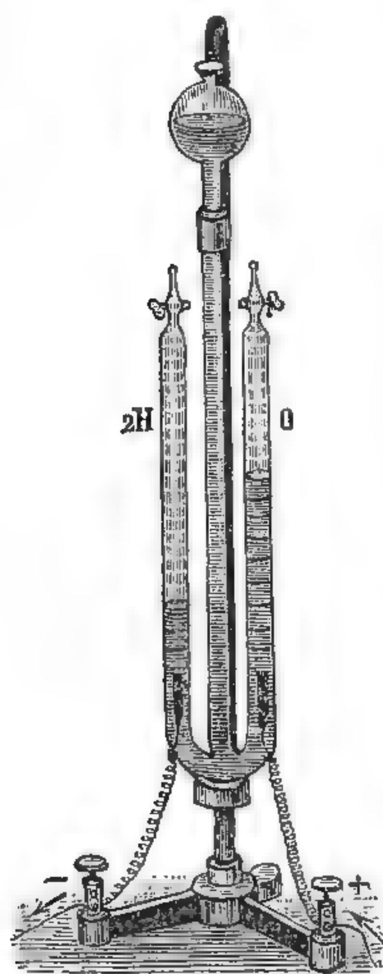


§ 34. III. Chemische Wirkungen des elektrischen Stromes.

1. **Das Wasser.** Zur Einwirkung des elektrischen Stromes auf **verdünnte Schwefelsäure** dient zweckmäßig der Hofmannsche Zersetzungsapparat (Fig. 62), welcher im wesentlichen aus drei zusammenhängenden Glasröhren besteht, von denen zwei durch Hähne verschließbar sind, während die dritte etwas länger ist und oben in einem weiten, oben offenen Glasgefäß endigt. Sind die Hähne geöffnet, so steigt die verdünnte Schwefelsäure, welche man in die mittlere Röhre gießt, auch in die beiden anderen Röhren, deren Hähne man schließt, sobald die Röhren ganz gefüllt sind. In diese beiden seitlichen Röhren sind unten zwei Platindrähte eingeschmolzen, die innerhalb der Röhren in kleinen Blechen aus Platin endigen und außen nach Klemmschrauben führen. Mittels dieser Klemmschrauben werden die Platindrähte an die Schließungsdrähte einer aus vier oder mehr Elementen bestehenden Batterie geschraubt. Es entwickeln sich dann an beiden Platinblechen Gasbläschen und steigen in den Gläsern empor. Dasjenige Gas, welches an der Eintrittsstelle des positiven Stromes, der Anode, erscheint, ist Sauerstoff; an der Austrittsstelle des Stromes, der Kathode,

aber sammelt sich doppelt so viel Wasserstoff. Daher wird zunächst der Anschein erweckt, als ob das Wasser (H_2O) der verdünnten Säure, gemäfs seiner chemischen Zusammensetzung, durch den elektrischen Strom in zwei Raumteile Wasserstoff (2 H) und einen Raumteil Sauerstoff (O) zerlegt worden wäre.

Fig. 62.



Es findet aber nur scheinbar eine Wasserzersetzung statt, wie genaue Untersuchungen gelehrt haben. Der elektrische Strom zersetzt vielmehr die Schwefelsäure (H_2SO_4) in Wasserstoff (2 H) und den Schwefelsäurerest (SO_4) ($H_2SO_4 = 2\,H + SO_4$). Der Wasserstoff bildet die positiv geladenen Ionen (§ 31), welche nach der Eintrittsstelle des negativen Stromes, der Kathode, wandern; dort gibt der Wasserstoff seine positive Ladung ab und steigt in Gasform im Glase auf. Der Schwefelsäurerest ist aber eine Verbindung, welche allein nicht bestehen kann; er leitet einen sekundären Vorgang ein, indem er dem Wasser Wasserstoff entzieht und mit diesem wieder Schwefelsäure bildet, dabei wird Sauerstoff aus dem Wasser frei ($SO_4 + H_2O = H_2SO_4 + O$). Der aus dem Wasser durch diesen sekundären Vorgang frei gewordene Sauerstoff bildet die negativen Ionen, welche nach der positiv geladenen Anode wandern, dort gibt der Sauerstoff seine negative Ladung ab und steigt in der Röhre in Gasform auf. Die Leitung des elektrischen Stromes durch die Flüssigkeit besteht in der Wanderung der positiven und negativen Ionen nach verschiedenen Richtungen.

Ganz reines Wasser leitet den Strom fast nicht, weil dasselbe durch den elektrischen Strom nur sehr wenig zersetzt wird; desgleichen Alkohol und Öle.

Gesetz: Der elektrische Strom wird nur durch solche chemisch zusammengesetzte Flüssigkeiten geleitet, welche er zersetzt.

Die Zersetzung eines Körpers durch den elektrischen Strom heifst die Elektrolyse. Die beiden Metallplatten, durch welche der Strom in die zu zersetzende Flüssigkeit eintritt und daraus austritt, Anode und Kathode, werden gemeinsam Elektroden genannt. Bei der Zersetzung verdünnter Schwefelsäure erscheint der Wasserstoff immer an der Kathode. Er ist der Träger des positiven Stromes.

2. **Binäre Verbindungen,** d. h. Stoffe, welche aus zwei verschiedenen chemischen Grundstoffen bestehen, werden in geschmolzenem oder gelöstem Zustande in ihre Elemente zerlegt, z. B. geschmolzenes Chlorsilber in Silber und Chlor, gelöstes Kochsalz (Chlornatrium) in Natrium und Chlor, Jodkalium in Kalium und Jod, Salzsäure (HCl) in Wasserstoff und Chlor. Dabei wandert der Wasserstoff oder das Metall (Kation) stets mit dem positiven Strome, setzt sich also an der Kathode ab; der andere Teil (Anion) geht mit dem negativen Strome zur Anode. Haben die entstandenen Ionen lebhafte chemische Verwandtschaft zu anderen Körpern, so entstehen sekundäre chemische Vorgänge; z. B. zersetzen frei gewordenes Kalium und Natrium im Augenblicke des Entstehens das Wasser, und es entsteht an der Kathode Kalilauge bez. Natronlauge und Wasserstoff.

3. Leitet man den Strom eines galvanischen Elementes durch eine Lösung von **Kupfervitriol** ($CuSO_4$), so wird die Flüssigkeit zersetzt; an der Austrittsstelle des positiven Stromes wird reines Kupfer, an der Eintrittsstelle Sauerstoff und Schwefelsäure ausgeschieden. Bestehen die eintauchenden Enden der Schliefsungsdrähte aus Kupfer, so setzt sich das ausgeschiedene Kupfer an die Kathode und haftet an derselben. Von der Anode dagegen wird ebensoviel Kupfer aufgelöst; Sauerstoff und Schwefelsäure bilden mit ihm neues Kupfervitriol, welches gleichfalls zersetzt wird. Es löst sich das Kupfer, aus welchem die eine Elektrode besteht, auf und gelangt in reinem Zustande an die andere.

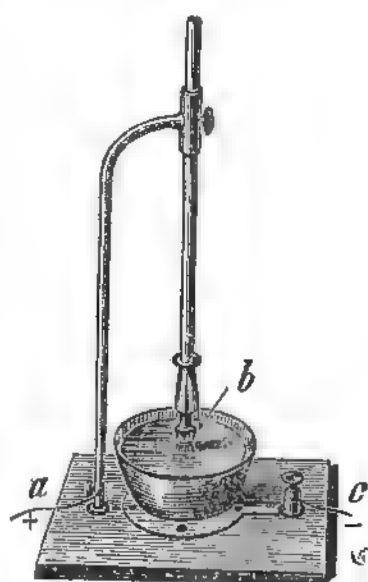
Auch aus anderen Metallsalzlösungen wird durch den Strom das reine Metall an der Kathode ausgeschieden.

Gesetz: Bei der Elektrolyse wird ein chemisch zusammengesetzter Körper in zwei Bestandteile zerlegt, von denen jeder an einer bestimmten Elektrode erscheint. Wasserstoff und Metall bewegen sich mit dem positiven Strom und treten an der Kathode auf.

Anwendungen der Elektrolyse sind die elektrolytische Raffinierung des im Handel vorkommenden Kupfers, die Reindarstellung der Metalle aus Erzen und Lösungen, die Galvanoplastik und Galvanostegie.

4. Wird die Batterie, welche die sogenannte Wasserzersetzung unterhält, verstärkt, so geht die Entwicklung der Gase an den Elektroden rascher vor sich, was nur darin seinen Grund haben kann, daſs mehr Elektrizität durch den Apparat flieſst oder der Strom verstärkt ist. Faraday fand das Gesetz: Die Menge der in gleichen Zeiten an den Elektroden abgeschiedenen Stoffe vervielfältigt sich wie die Stromstärke. Wird also in einer Minute doppelt, dreifach so viel Wasserstoff und Sauerstoff entwickelt als erst, so hat sich die Stromstärke verdoppelt, verdreifacht. Daher kann die Menge der in einer bestimmten Zeit abgeschiedenen Gase als Maſs für die Stromstärke dienen. Dient der Wasserzersetzungsapparat zur Bestimmung der Stromstärke, so heiſst er ein **Wasservoltameter.** Unter der Einheit der Stromstärke versteht man den Strom, welcher im Wasservoltameter während einer Minute zusammen 10,44 ccm Wasserstoff bei 760 mm Druck und 0 Grad Temperatur hervorbringt. Diese **Einheit der Stromstärke** heiſst **ein Ampere.** Reichsgesetzlich hat der Strom die Stärke eines Ampere, welcher in einer Sekunde 0,001118 g oder 1,118 mg Silber aus einer wässerigen Lösung von Silbernitrat oder Höllenstein ($AgNO_3$) ausscheidet.

Fig. 63.



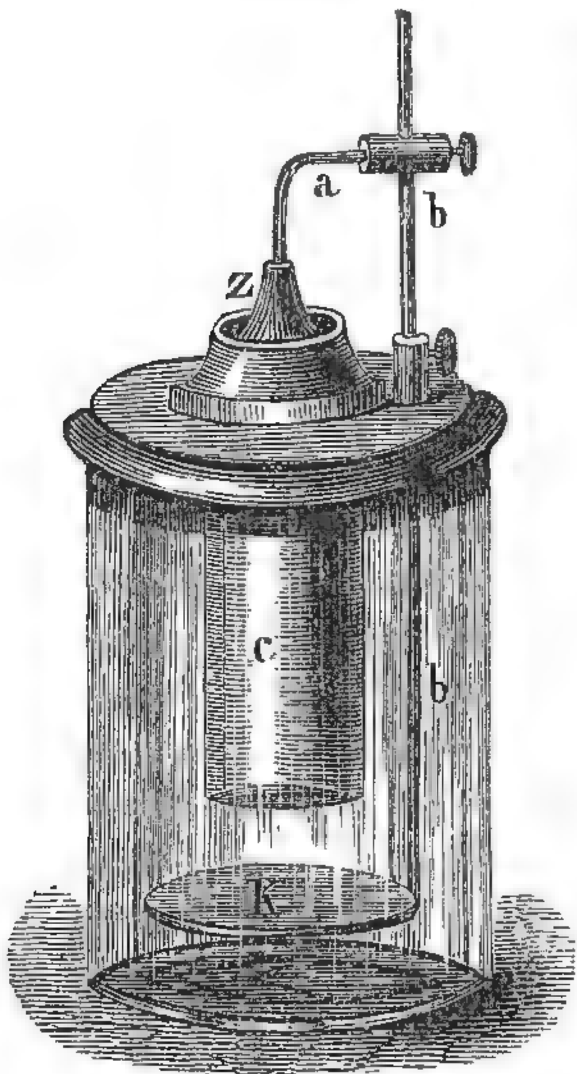
Will man die Stärke eines Stromes bestimmen, so leitet man ihn durch das **Silbervoltameter** (Fig. 63); der Strom geht vom Schlieſsungsdraht *a* durch metallene Leiter nach der Anode *b*, die aus reinem Silber besteht und in die Höllensteinlösung eintaucht, welche sich in einem Platingefäſs mit leitender Unterlage befindet. Das Platingefäſs dient als Kathode, an welcher sich das ausgeschiedene Silber niederschlägt. Nachdem der Strom durch die Flüssigkeit gegangen ist, tritt er bei *c* wieder aus dem Apparat heraus. Die Beobachtung der Zeit des Stromdurchganges und die Wägung des trockenen Platingefäſses vor und nach dem Versuch gestattet die Berechnung der Stromstärke.

§ 35. Galvanoplastik und Galvanostegie.

1. Jakobi in Dorpat bemerkte, daſs sich der Kupferzylinder eines Daniellschen Elementes, das er oft gebrauchte, mit einer Kupferschicht überzogen hatte; durch den galvanischen Strom war die Kupfervitriollösung zersetzt worden, und es hatte sich metallisches Kupfer aus der Lösung niedergeschlagen. Dieser Überzug lieſs sich leicht von dem Kupferzylinder ablösen; Jakobi fand darin jede Vertiefung, ja jeden Feilstrich des Kupferzylinders aufs genaueste abgebildet und gründete auf diese Wahrnehmung 1838 **die Galvanoplastik,** die Kunst, durch den galvanischen Strom Abdrücke von Münzen, Kupferplatten oder ganzen Figuren in Metall herzustellen. **Der einfache galvanoplastische Apparat** (Fig. 64) besteht aus einem Glase und einem engeren porösen Tonbecher *c*, welcher in das Glas hineingehängt wird. In dem Tonbecher befindet sich ein Zinkzylinder *Z* und unten in dem Glase eine Kupferplatte *K*; beide sind durch einen Kupferdraht *ab* verbunden. Wird in den Tonbecher verdünnte Schwefelsäure, in das Glas aber Kupfervitriollösung gegossen, so entsteht ein galvanischer Strom, welcher in der Flüssigkeit die Richtung vom Zink nach dem Kupfer hat. Derselbe

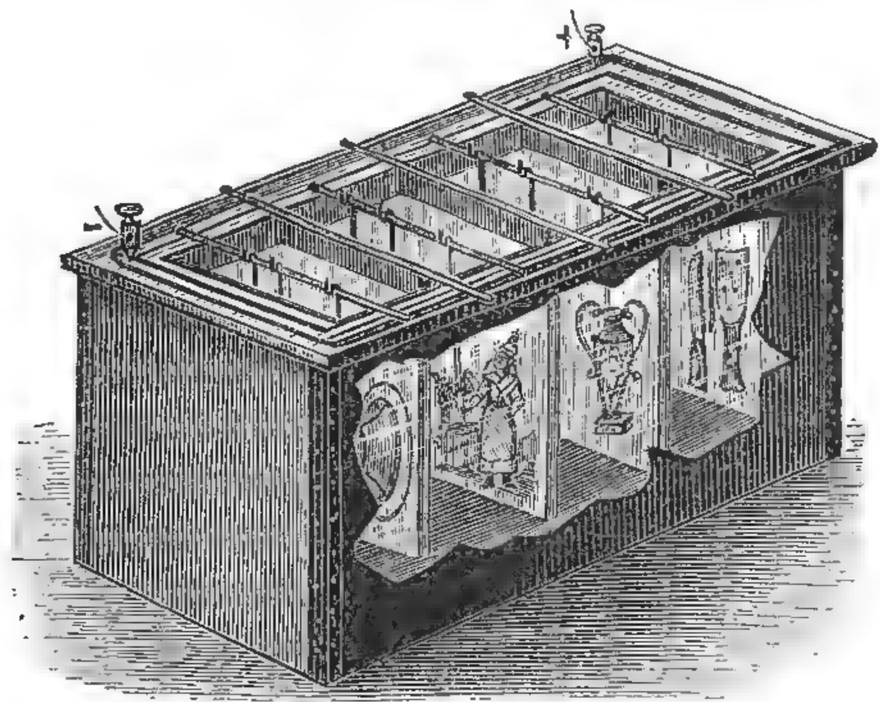
zersetzt die Kupfervitriollösung, und das in ihr enthaltene Kupfer setzt sich an alle Metallgegenstände, z. B. Münzen, die man auf die Kupferplatte gelegt hat. Am Rande wird die Münze mit Wachs bedeckt, doch so, dafs sie die Platte berührt, auf der oberen Fläche gereinigt und mit einem Tropfen Rosmarinöl überfahren. An die obere Fläche setzt sich metallisches Kupfer. Dieser Überzug von Kupfer läfst sich nachher leicht von der Münze trennen und bildet einen vertieften Abdruck ihrer erhabenen Stellen. Um eine dem Original ganz ähnliche Kopie zu erhalten, fertigt man von demselben zuerst eine Form aus Guttapercha oder aus Wachs und Gips, überzieht die Form mit Graphit und bringt sie in den galvanoplastischen Apparat.

Fig. 64.



Beim Abbilden gröfserer Gegenstände wendet man den Strom einer konstanten Batterie oder einer Dynamomaschine (§ 46, 5) und ein grofses Gefäfs mit Kupfervitriollösung an. In die Lösung hängt man Kupferplatten und verbindet dieselben durch Leitungsdrähte mit dem positiven

Fig. 65.



Pol der galvanischen Batterie oder der Dynamomaschine, so dafs die Platten die Eintrittsstellen des Stromes oder die Anoden bilden (Fig. 65). Die abzubildenden, durch Einreiben mit Graphit leitend gemachten Formen aber, welche gleichfalls in die Flüssigkeit eingetaucht werden, verbindet man durch Leitungsdrähte mit dem Zinkpol der Batterie oder dem negativen Pol der Dynamomaschine, so dafs die Formen die Austrittsstellen des Stromes, die Kathoden, bilden. Während sich auf den Formen Kupfer niederschlägt, lösen die Platten sich allmählich auf, und die Lösung bleibt konzentriert. Anwendung findet die Galvanoplastik zur Vervielfältigung seltener Münzen und Medaillen, ferner um Klichees von Holzschnitten und Abdrücke von Kupferplatten zu Kupferstichen und Karten zu erhalten, um Stereotypplatten und Gipsfiguren zu überkupfern und Bildsäulen aus Kupfer herzustellen.

2. **Die Galvanostegie** ist die Kunst, durch den elektrischen Strom Gegenstände mit Metallen zu überziehen. Wichtig sind besonders die galvanische Vernickelung, Verstählung, Versilberung und Vergoldung, bei denen unter dem Einflufs des Stromes die in die Lösung eintauchenden Gegenstände mit Nickel, Eisen, Silber oder Gold überzogen werden. Zur Vernickelung benutzt man eine Lösung von Chlornickel, Zitronensäure und etwas Salmiakgeist, für die Verstählung Eisenchlorürbäder, zur Versilberung eine Lösung von Cyankalium und Cyansilber, für die Vergoldung Cyankalium und Goldchlorid.

§ 36. Die Akkumulatoren.

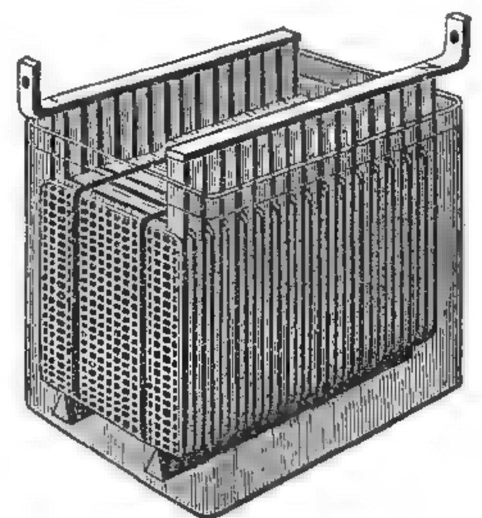
1. Wie im Voltaschen Element, so tritt in jeder Flüssigkeit, die durch den elektrischen Strom zersetzt wird, an den Elektroden eine elektromotorische Gegenkraft auf, die einen Strom zu erzeugen sucht, welcher dem eigentlichen Strome entgegengerichtet ist. Unterbricht man den Strom, der durch ein Wasservoltameter fliefst, und verbindet die Elektroden rasch*) mit einem Galvanometer (§ 37, 2), so zeigt der Ausschlag der Nadel, dafs von den Elektroden aus ein Strom geht, der dem Batteriestrom entgegengesetzt ist. Die Ursache hierfür sind die Gasbläschen, die an der Anode negativ, an der Kathode positiv geladen sind. Nach kurzer Zeit verschwinden die Gasbläschen und damit auch der Gegenstrom. Der durch die elektromotorische Gegenkraft hervorgebrachte, entgegengesetzt gerichtete Strom heifst der **Polarisationsstrom**; die Elektroden, die diesen Strom erzeugen, heifsen **polarisiert**.

2. Auf der Polarisation von zwei Bleielektroden beruhen die Akkumulatoren oder sekundären Elemente (Fig. 66). Man nimmt zwei dünne, lange Bleiplatten und bestreicht jede nach einer besonderen Zubereitung mit einer dicken Lage von Mennige, einer sauerstoffreichen Bleiverbindung. Beide Platten werden so aufeinandergelegt, dafs sie durch $^1/_2$ cm starke Kautschukbänder voneinander getrennt sind, dann zusammengerollt, mit Schliefsungsdrähten versehen und in ein Gefäfs mit verdünnter Schwefelsäure gestellt. Zu den Schliefsungsdrähten leitet man den Strom einer Bunsenschen Batterie oder besser dynamoelektrischen Maschine (§ 46, 5) und läfst ihn mehrere Tage lang die Vorrichtung durchfliefsen. Dadurch wird der Akkumulator geladen, d. h. er wird chemisch so verändert, dafs er nach Entfernung der Batterie selbst einen starken und andauernden elektrischen Strom hervorbringen kann, welcher als sekundärer Strom oder Entladungsstrom bezeichnet wird. Der hindurchgeleitete Strom der Batterie hat Flüssigkeit zersetzt; an der einen Platte hat sich Sauerstoff entwickelt und dort die Mennige in Bleihyperoxyd verwandelt; an der andern Platte hat sich Wasserstoff entwickelt und aus der Mennige Blei gebildet. Nachdem man den Akkumulator geladen hat, ist es keineswegs nötig, ihn sogleich zu benutzen; er behält vielmehr seine Kraft längere Zeit. Der Entladungsstrom entsteht durch chemische Vorgänge, indem sich der Sauerstoff des Bleihyperoxyds mit dem Wasserstoff der Flüssigkeit vereinigt und der Sauerstoff der Flüssigkeit sich mit dem Blei verbindet. Fig. 67 stellt einen Akkumulator neuerer Bauart dar, welcher in einem Glasgefäfs in abwechselnder Reihenfolge positive und negative Gitterplatten aus Blei enthält, die mit Mennige ausgestrichen sind. Alle positiven Platten sind oben durch Bügel leitend verbunden, ebenso alle negativen Platten. Eine Zusammenstellung von Akkumulatoren wird da, wo man eine dynamoelektrische Maschine nur am Tage arbeiten lassen kann, angewandt, um nachts das

Fig. 66.



Fig. 67.



*) Man benutzt den Apparat Fig. 73 (Seite 46), nimmt die Querdrähte CF und BE heraus und schaltet die Batterie zwischen B und C, den Wasserzersetzungsapparat zwischen D und A ein. Liegt die Wippe nach rechts, so fliefst der Batteriestrom durch den Wasserzersetzungsapparat. Die vom Galvanometer kommenden Drähte führt man nach E und F. Wird die Wippe nach links gelegt, so ist die Batterie ausgeschaltet, und die Elektroden des Wasserzersetzungsapparates sind mit dem Galvanometer verbunden.

elektrische Licht hervorzubringen, ferner, um mit Hilfe eines Elektromotors (§ 46, 5, c) Boote, Straſsenfuhrwerke oder Eisenbahnwagen ohne Drahtleitung zu bewegen, auch zum Telegraphieren.

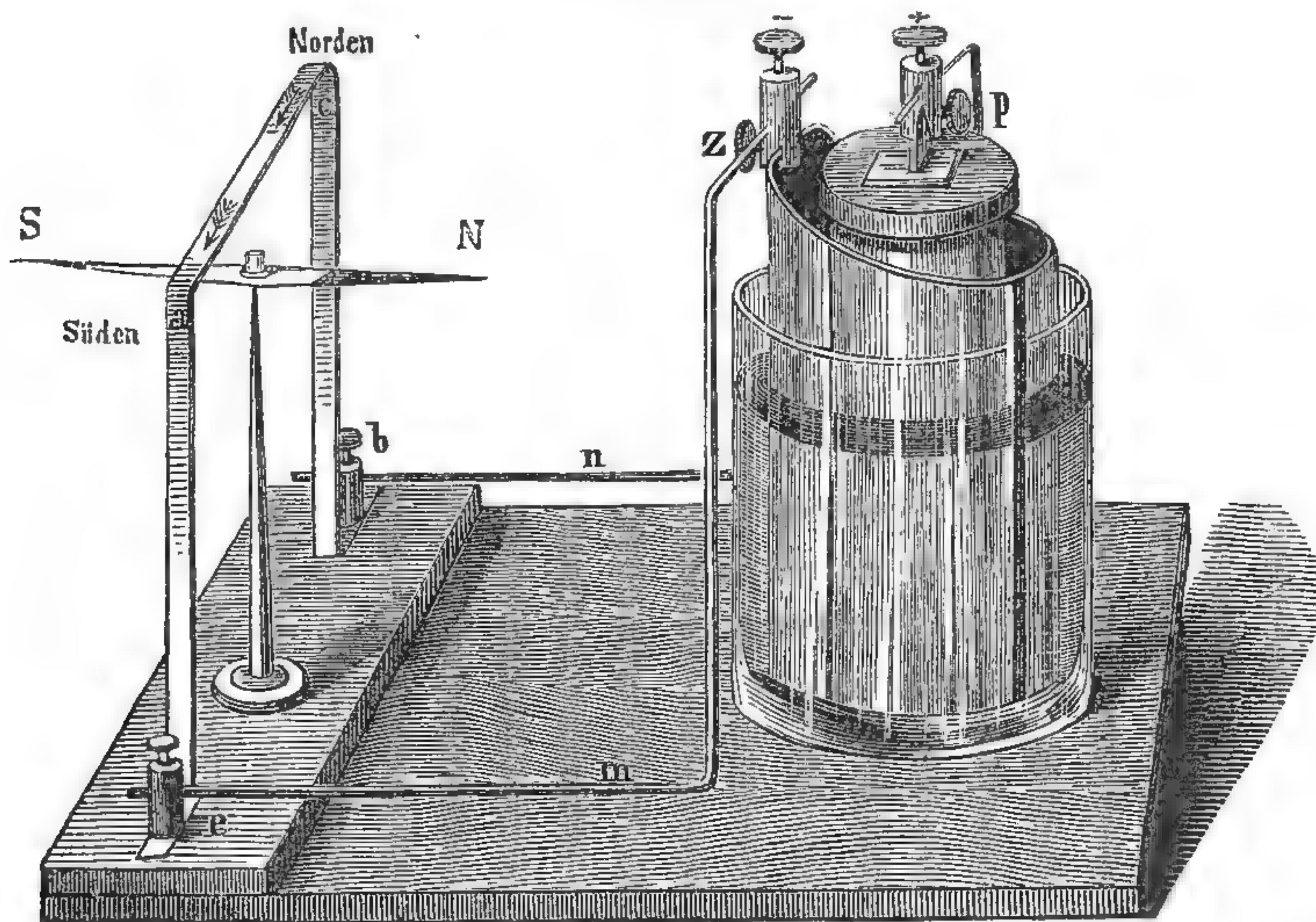
b) Wirkungen auſserhalb des Stromleiters.

IV. Magnetische Wirkungen des elektrischen Stromes.

§ 37. Die Ablenkung der Magnetnadel und das Galvanometer.

1. **Die Ablenkung durch den Strom.** Der dänische Naturforscher Örsted entdeckte 1820 zu Kopenhagen, daſs der elektrische Strom die Magnetnadel aus ihrer Gleichgewichtslage, die sie in der Richtung des magnetischen Meridians hat, ablenkt. Er brachte zufällig einen Platindraht, durch den der positive Strom nach Süden floſs, einer darunter befindlichen Magnetnadel nahe und sah, daſs der Nordpol der Nadel sich plötzlich nach Osten

Fig. 68.



hin richtete. Nimmt (Fig. 68) der positive Strom eines (Groveschen) Elements *PZ* vom Platin *P* aus durch Kupferstreifen den Weg *PnbcaemZ*, so daſs er über einer Magnetnadel die Richtung *ca* nach Süden hat, so wird der Nordpol der Nadel nach Osten zu abgelenkt. Die Nadel kann nach oben, unten, Osten oder Westen abgelenkt werden, wenn man dem kupfernen Streifen oder Draht verschiedene Lagen gibt. Für alle Fälle aber gilt die **Ampèresche Regel**:

> **Denkt man sich in der Art mit dem positiven Strome schwimmend, daſs man die Magnetnadel ansieht, so wird der Nordpol der Nadel nach links abgelenkt.**

Bequemer zum Gebrauche als die Ampèresche Regel ist die sogenannte **Rechtehandregel**, welche lautet: Legt man die ausgestreckte **rechte Hand** in der Stromrichtung so auf den Stromleiter, daſs die innere Handfläche der Magnetnadel zugewendet ist, so wird der Nordpol der Nadel in der Richtung des ausgestreckten **Daumens** abgelenkt.

2. **Das Galvanometer oder der Multiplikator.** Bei schwachen Strömen ist die Ablenkung der Magnetnadel unbedeutend. Biegt man aber Kupferdraht zu einem längeren Viereck, dessen eine Ecke offen bleibt, und umgibt man damit eine frei

schwebende Magnetnadel (Fig. 69), so wird dieselbe durch einen Strom stärker abgelenkt als bei einem einfachen Leitungsdraht. Denn alle Seiten des Vierecks lenken, den unter 1. ausgesprochenen Regeln gemäfs, die Nadel nach derselben Seite hin. Umfliefst ein elektrischer Strom die Magnetnadel in der angegebenen Weise, so kann man die Ausschlagsrichtung der Nadel auch durch folgende Regel bestimmen: Sieht ein Beschauer den Strom in der Richtung des Uhrzeigers kreisen, so kehrt die Nadel dem Beschauer den Südpol zu (Fig. 69). Um die Wirkung bedeutend zu verstärken, nimmt man einen hölzernen Rahmen, der rechts und links offen ist, und in dessen Mitte eine Magnetnadel schwebt, und umwickelt denselben mit Windungen von besponnenem Kupferdraht; an die Enden desselben werden die Leitungsdrähte geschraubt. Diese Vorrichtung heifst **Multiplikator**, weil die vielen Windungen die Ablenkungen der Magnetnadel vervielfachen,

Fig. 69.

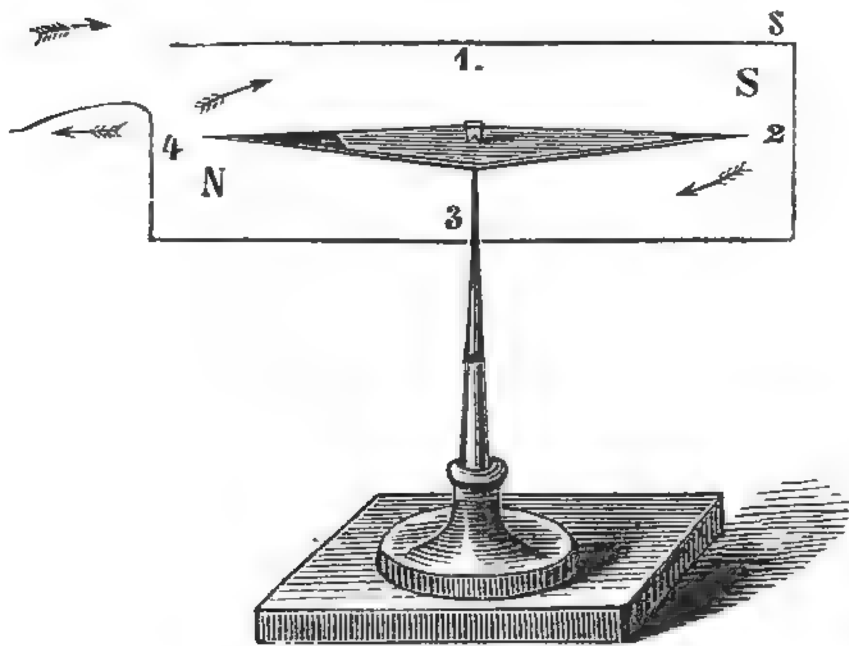


Fig. 70.

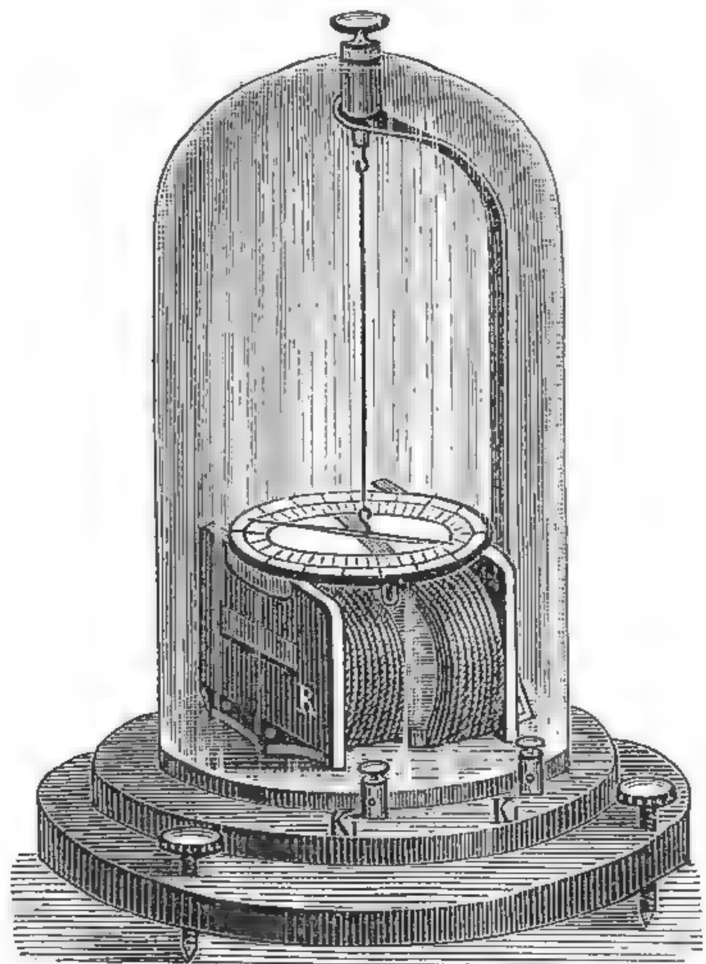
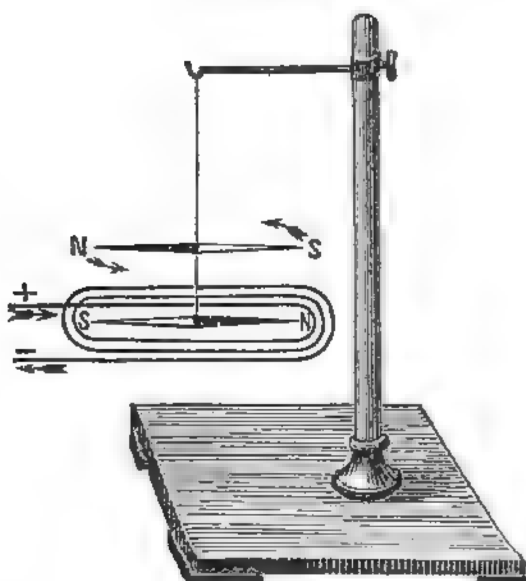


Fig. 71.



oder Galvanometer, weil sie dazu dient, die Stärke des Stromes nach der Stärke der Ablenkung zu beurteilen und schwache galvanische Ströme zu entdecken. Die empfindlichsten Galvanometer (Fig. 70) sind durch eine Glasglocke gegen den Luftzug geschützt und enthalten statt der gewöhnlichen Magnetnadel eine astatische Doppelnadel (Fig. 71). Ein Stäbchen hängt lotrecht an einem ungedrehten Seidenfaden; durch dasselbe sind wagerecht zwei gleichstarke Magnetnadeln so geschoben, dafs der Nordpol der einen über dem Südpol der anderen liegt. Die untere Nadel befindet sich in der Mitte der Drahtwindungen; die obere hängt über den oberen Teilen derselben und wird durch diese in demselben Sinne abgelenkt, so dafs der Strom auf die Doppelnadel mit stärkerer Kraft ablenkend wirkt. Unter der oberen Magnetnadel ist eine in 360 Grad eingeteilte Kreisscheibe angebracht. Für kleine Ablenkungen ist das Verhältnis der Ablenkungswinkel gleich dem Verhältnis der Stromstärken verschiedener Ströme. Bei grofsen Ablenkungen nehmen die Ablenkungen in geringerem Mafse zu als die Stromstärken, weil die vom Strom ausgehende ablenkende Kraft auf die entfernteren Pole schwächer wirkt.

§ 38. Leitungswiderstand. Ohmsches Gesetz.

1. **Leitungswiderstand.** Schaltet man in den Stromkreis eines galvanischen Stromes, der auch durch ein Wasservoltameter und ein Galvanometer fliefst, nach

einiger Zeit Metalldrähte und dann eine Flüssigkeitssäule aus verdünnter Schwefelsäure (Fig. 11) ein, so bemerkt man, dafs die Gasentwickelung im Wasservoltameter langsamer vonstatten geht, und dafs der Galvanometerausschlag geringer wird. Da die *Wirkungen* des Stromes geringer geworden sind, mufs die **Stromstärke** kleiner geworden sein, das ist die Elektrizitätsmenge, die in einer Sekunde durch einen (beliebigen) Querschnitt der Leitung fliefst. Die eingeschalteten Drähte und die Flüssigkeitssäule bereiten dem Strome ein Hindernis, sie setzen ihm einen *Widerstand* entgegen. *Unter dem* **Leitungswiderstand** *eines elektrischen Stromes versteht man die Hindernisse, die sich der Fortbewegung des Stromes in seiner Strombahn entgegensetzen.*

Schaltet man in einen Stromkreis, der ein Galvanometer enthält, erst einen Eisendraht von 2 m Länge und dann statt dessen einen Kupferdraht gleichen Querschnitts von 10 m Länge, so zeigt das Galvanometer in beiden Fällen (fast) denselben Ausschlag; man sagt dann, die Widerstände der beiden Drähte sind gleich. Zugleich ergibt sich aus dem Versuch: *Die Gröfse des Leitungswiderstandes ist sowohl von der Beschaffenheit des Stoffes als auch von der Ausdehnung des Leiters abhängig.*

Um die Gröfsen verschiedener Leitungswiderstände miteinander vergleichen zu können und sie zu messen, mufs ein bestimmter Leitungswiderstand als *Einheit* bestimmt sein. **Die Einheit des Leitungswiderstandes heifst ein Ohm; ein Ohm ist gleich dem Widerstande eines Quecksilberfadens von 1 qmm Querschnitt und 1,063 m Länge bei 0 Grad.**

Die besten Leiter der Elektrizität sind die Metalle; der schlechteste Leiter unter den Metallen ist das Quecksilber, die besten sind Kupfer und Silber. Es beträgt (abgerundet) der Leitungswiderstand eines Drahtes (Fadens) von 1 m Länge und 1 qmm Querschnitt in Ohm: für Quecksilber 1 (siehe oben), für Blei $^1/_5$, Eisen $^1/_{12}$, Platin $^1/_{16}$, Aluminium $^1/_{35}$, Kupfer $^1/_{61}$, Silber $^1/_{66}$. Viel schlechtere Leiter sind die Flüssigkeiten; während aber die Flüssigkeiten besser leiten, wenn sie wärmer sind, werden die Metalle schlechtere Leiter, je wärmer sie werden.

Genauere Versuche lehren, dafs der Widerstand eines Leiters aus demselben Stoffe sich verdoppelt, verdreifacht, vervierfacht usf., wenn die Länge desselben bei gleichem Querschnitt zwei-, drei-, viermal usf. gröfser wird; ferner, dafs der Widerstand auf $^1/_2$, $^1/_3$, $^1/_4$ usf. sinkt, wenn bei gleicher Länge die Querschnitts*fläche* zwei-, drei-, viermal usf. so grofs wird. **Der Leitungswiderstand ist von der Natur des Leiters abhängig, er vervielfältigt sich wie die Länge des Leiters und nimmt ab, wie dessen Querschnitt sich vervielfältigt.**

2. **Ohmsches Gesetz, Einheit der elektromotorischen Kraft.** Durch genaue, messende Versuche läfst sich das von dem deutschen Physiker *Ohm* (1827) gefundene Gesetz bestätigen, welches die gegenseitige Beziehung angibt, in der die *Stromstärke, die elektromotorische Kraft und der gesamte Widerstand des Stromkreises* zueinander stehen: **Die Stromstärke vervielfältigt sich wie die elektromotorische Kraft, und sie nimmt in demselben Verhältnisse ab, wie der Gesamtwiderstand des Stromkreises zunimmt.** Oder:

$$\textbf{Stromstärke} = \frac{\textbf{Elektromotorische Kraft}}{\textbf{Gesamtwiderstand}}.$$

Die Einheit der Stromstärke (1 Ampere) ist durch die elektrolytische Wirkung des Stroms (S. 39) festgelegt; *die Einheit des Widerstandes* (1 Ohm) durch den Widerstand eines Quecksilberfadens von 1 qmm Querschnitt und 1,063 m Länge (s. oben). Da nach dem Ohmschen Gesetz *zwei* von den *drei* Gröfsen: Stromstärke, elektromotorische Kraft, Widerstand, stets die *dritte* bestimmen, so ist durch die Festsetzung über die Einheit der Stromstärke und die Einheit des Widerstandes auch die Einheit der elektromotorischen Kraft schon bestimmt. **Die Einheit der elektromotorischen Kraft ist die elektromotorische Kraft, welche**

die Einheit der Stromstärke, 1 Ampere, erzeugt, wenn der Gesamtwiderstand gleich der Widerstandseinheit, 1 Ohm, ist. Diese Einheit der elektromotorischen Kraft heifst ein Volt; sie ist fast so grofs wie die elektromotorische Kraft eines Daniellschen Elements.

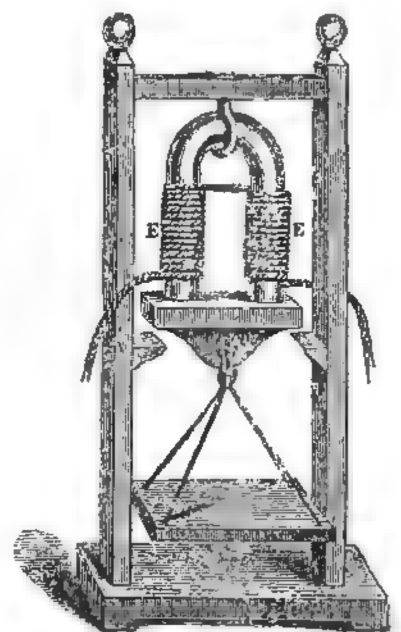
Ampere, Ohm und Volt stehen also in der Beziehung:

$$1 \text{ Ampere} = \frac{1 \text{ Volt}}{1 \text{ Ohm}}.$$

§ 39. Der Elektromagnet.

1. Umwickelt man einen hufeisenförmigen Stab aus weichem Eisen mit vielen parallelen Windungen von besponnenem Kupferdraht (Fig. 72) und leitet durch die Drahtwindungen einen elektrischen Strom, so zeigt sich das Eisen stark magnetisch. **Ein Eisenstab, um welchen in zahlreichen gleichlaufenden Drahtwindungen ein elektrischer Strom fliefst, ist ein kräftiger Magnet; ein solcher Eisenstab heifst ein Elektromagnet.** Je stärker der elektrische Strom, je gröfser die Zahl der Drahtwindungen, und je dicker das Eisen ist, desto stärker ist der Elektromagnetismus. Man verwendet in Fabriken zum Heben Elektromagnete, die mehr als 1000 kg tragen *).

Fig. 72.



2. **Ein Elektromagnet ist nur so lange stark magnetisch, als durch seine Drahtwindungen ein elektrischer Strom fliefst;** er ist nur vorübergehend magnetisch, während ein Stahlmagnet dauernd magnetisch ist. Unterbricht man den Strom, so verliert er sogleich fast ganz seine anziehende Kraft. **Ein Elektromagnet läfst sich daher durch Herstellung und Unterbrechung des Stromes abwechselnd magnetisch oder unmagnetisch machen****).

3. Die Lage des Nordpols und Südpols eines Elektromagnets ist von der Richtung des Stromes abhängig. **Denkt man sich eine mit dem positiven Strom schwimmende Figur, welche den Eisenkern des Elektromagnets ansieht, so liegt der Nordpol des Elektromagnets zur linken Hand der Figur.** Oder: Kreist für den Beschauer der Strom im Sinne der Uhrzeigerbewegung, so ist dem Beschauer der Südpol des Elektromagnets zugewendet. Kehrt man die Richtung des Stromes um, so kehrt man zugleich die Pole des Elektromagnets um und macht den früheren Nordpol zum Südpol und umgekehrt. **An einem Elektromagnet lassen sich die Pole dadurch umkehren, dafs man die Richtung des elektrischen Stromes umkehrt.**

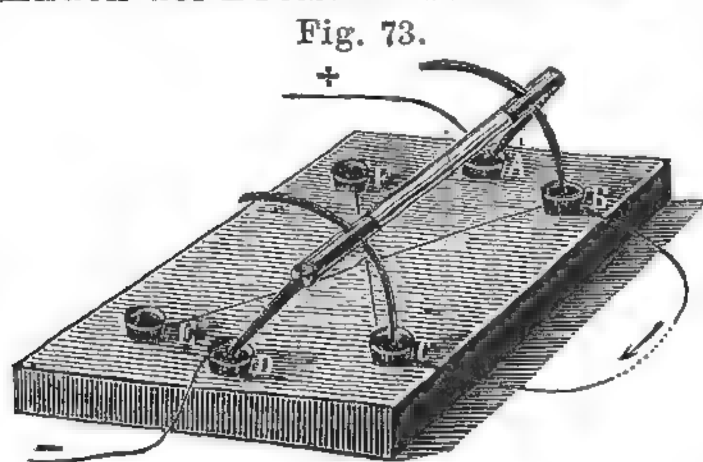
---

*) Mittels starker Elektromagnete hat Faraday 1845 gezeigt, dafs alle Körper unter dem Einflusse des Magnetismus stehen. Ein horizontal hängendes Stäbchen von Nickel nimmt in der Nähe eines starken Magnets dieselbe Richtung an, welche die Achse desselben hat, und wird von dem Magnet angezogen. Solche Körper, die von starken Magneten angezogen werden, heifsen paramagnetische (oder magnetische) Körper. Paramagnetische Körper sind Nickel, Kobalt, Platin, Flufsspat, Graphit und Holzkohlen. Dagegen nimmt ein wagerecht hängendes Stäbchen aus Wismut zwischen den Polen eines kräftigen Magnets eine Richtung an, welche die Achse des Magnets rechtwinklig durchschneidet, und wird von beiden Polen abgestofsen. Solche Körper, welche von beiden Polen abgestofsen werden, heifsen diamagnetische Körper. Diamagnetische Körper sind Wismut, Antimon, Zink, Zinn, Blei, Kupfer, Silber, Gold, Glas, Wasser und alle Gase, mit Ausnahme des Sauerstoffs.

**) Man kann einen Elektromagnet zum Magnetisieren von Stahlstäben benutzen. Der Elektromagnet wird auf den Tisch gelegt, und der Stahlstab (nach dem Verfahren des einfachen Strichs) zuerst an dem einen, nachher an dem anderen Pol gestrichen.

4. Jede Vorrichtung, die dazu dient, die Richtung des elektrischen Stromes umzukehren, heifst ein **Stromwender oder Kommutator.** Der Pohlsche Stromwender (Fig. 73) besteht aus einem Brettchen mit 6 Näpfchen voll Quecksilber. Die Wippe des Apparates ist ein wagerechter Glasstab, der an beiden Enden metallene Dreifüfse trägt, von denen je zwei Füfse stets in Quecksilbernäpfchen eintauchen. Die beiden mittelsten Enden der Dreifüfse stehen stets in den beiden mittelsten Quecksilbernäpfchen *A* und *D*; je zwei auf der Seite gelegene Enden tauchen entweder in die beiden Näpfchen *B* und *C* oder die Näpfchen *E* und *F* ein, je nachdem die Wippe nach rechts oder links umgelegt ist. Die beiden Näpfchen, in denen zwei Enden eines Dreifufses stehen, sind stets leitend miteinander verbunden. Durch Drähte sind aufserdem die sich diagonal gegenüberstehenden Näpfchen *B*, *E* und *C*, *F* in leitender Verbindung. Bei *A* wird der Batteriestrom eingeführt, bei *D* tritt er heraus. Die Stromleitung, in welcher der Strom umgekehrt werden soll, ist zwischen *B* und *C* eingeschaltet. In der Zeichnung geht der Strom von *A* über *B* nach *C* und nach *D*. Wird die Wippe nach links gelegt, so geht der Strom von *A* über *F* nach *C* und geht dann in der äufseren Leitung von *C* nach *B* (also entgegen der ersten Richtung) und über *E* nach *D*.

Fig. 73.



5. Zur Erklärung der elektromagnetischen Erscheinungen denke man sich (siehe § 6 S. 4) jedes Eisenmolekül als einen kleinen Magnet mit Nord- und Südpol (Elementarmagnet). Bevor der elektrische Strom durch die Drahtwindungen fliefst, liegen die Elementarmagnete ungeordnet, so dafs sich die Wirkungen der ungleichnamigen Pole aufheben. Der durch jede Drahtwindung fliefsende Strom ordnet aber die Lage der Elementarmagnete in demselben Sinne, indem er jedes Molekül senkrecht zu der Bahnebene des Stromes zu stellen sucht; geradeso wie der durch die Windungen eines Galvanometers fliefsende Strom die Magnetnadel richtet. Die Entstehung der Pole an den Enden des Eisenstabes erklärt sich dann wie in § 6 S. 5. Aber auch die Lage der Pole des Elektromagnets in bezug auf die Stromrichtung findet durch die obige Annahme ihre Erklärung in der Ampèreschen Regel oder durch die Uhrzeigerregel (S. 43), wonach die Magnetnadel ihren Südpol gegen den Beschauer wendet, wenn dieser den Strom im Sinne des Uhrzeigers kreisen sieht. Die Verstärkung des elektrischen Stromes wirkt nur so lange verstärkend auf den Magnetismus des Elektromagnets, bis sämtliche Moleküle die gleiche Richtung angenommen haben; zu weiterer Verstärkung des Elektromagnetismus ist eine Vermehrung der Moleküle, d. h. eine Verstärkung des Eisenstabes, nötig. Häufiger Stromwechsel erwärmt den Eisenkern wegen der Reibung der Moleküle aneinander. Die Unterbrechung des Stromes bewirkt das Zurückfallen der Moleküle in ihre frühere ungeordnete Lage.

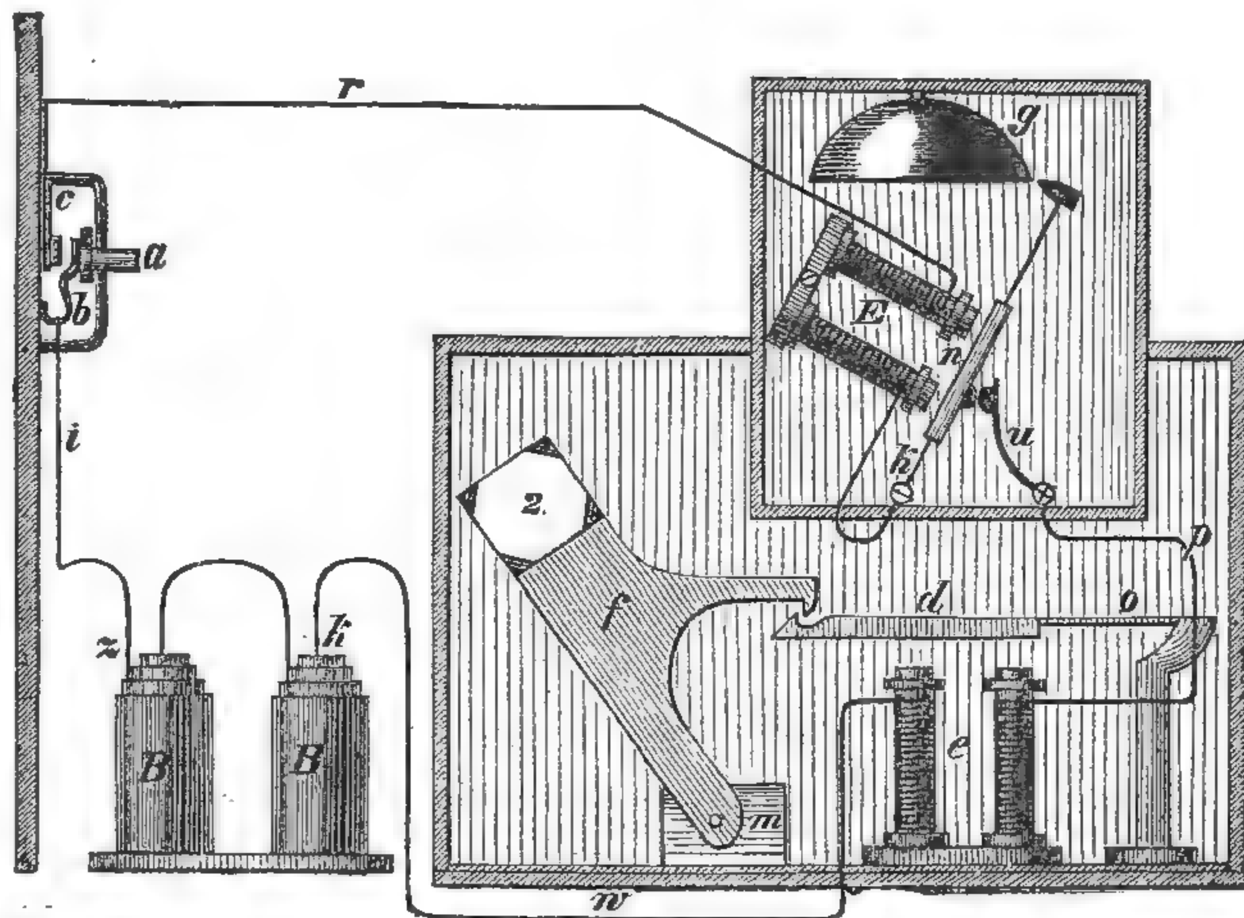
§ 40. Die elektrische Klingel.

1. **Eine Anwendung des Elektromagnetismus ist die elektrische Klingel.** Wenn ein Gebäude mit elektrischen Klingeln versehen ist, so befindet sich in vielen Zimmern ein Druckknopf *a* (Fig. 74), und dieser ist durch Drähte einerseits mit einer konstanten Batterie (§ 31), anderseits mit dem Zimmeranzeiger und der elektrischen Klingel verbunden. **Der Druckknopf** ist ein Stromunterbrecher; die Leitung *zibcr* für den galvanischen Strom ist zwischen der Feder *b* und einer Metallplatte *c* unterbrochen. Drückt man aber gegen den Knopf *a*, so berührt die Feder die Metallplatte; die Leitung wird hergestellt, und der Strom der Batterie gelangt zu der Klingel und dem Zimmeranzeiger.

2. **Die elektrische Klingel** enthält einen Elektromagnet *E*; vor den Polen desselben befindet sich ein eiserner Anker *n*, welcher von einer metallenen Feder *k* getragen wird. Die Verlängerung des Ankers ist mit einem Hammer versehen, der gegen eine Glocke *g* schlagen soll. Der Anker stützt sich gegen eine metallene

Feder *u*, welche in die Drahtleitung eingeschaltet ist. Wird der Strom geschlossen, so geht er von dem einen Pol *k* der Batterie durch den Draht *w*, die Windungen des Elektromagnets *e* und den Draht *p* zu der Feder u, auf welche sich der Anker der elektrischen Klingel stützt. Von der Feder *u* geht der Strom über auf den Anker *n* und die Feder *k*, an der er befestigt ist, durchfließt darauf die Windungen des Elektromagnets *E* und gelangt durch den Draht *r*, den Druckknopf und den Draht *i* zu dem anderen Pol *z* der Batterie. Sobald der Strom durch die Windungen des Elektromagnets *E* fließt, wird dieser magnetisch, zieht seinen Anker *n* an und bewirkt, daß der Hammer gegen die Glocke schlägt. Durch die Bewegung des Ankers wird aber der Strom zwischen ihm und der Feder *u* unterbrochen; der Elektromagnet wird unmagnetisch und zieht den Anker nicht mehr an. Der Anker sinkt gegen die Feder *u* zurück. Dadurch wird der Strom wieder geschlossen; der Anker wird wieder vom Elektromagnet angezogen und schlägt wieder gegen die Glocke. Es ertönen schnell aufeinanderfolgende Glockenschläge, solange gegen den Druckknopf gedrückt wird.

Fig. 74.



3. Der **Zimmeranzeiger** besteht aus einem Elektromagnet *e*, seinem Anker *d* und einem einarmigen Hebel *mf*. Der eiserne Anker *d* schwebt, von einer Feder *o* getragen, über den Polen des Elektromagnets und hält mittels eines Hakens den einarmigen, um den Punkt *m* drehbaren Hebel *mf* fest, auf welchem die Nummer (2) des Zimmers angegeben ist. Wird nun der Strom durch Drücken gegen den Knopf *a* geschlossen, so zieht der Elektromagnet *e* den Anker *d* an. Dieser läßt den Hebel *mf* los, der Hebel sinkt und die Nummer des Zimmers, von welchem aus ein Zeichen gegeben ist, wird sichtbar. Soviel Zimmer, soviel Zimmeranzeiger sind vorhanden und von einem gemeinsamen Gehäuse umschlossen.

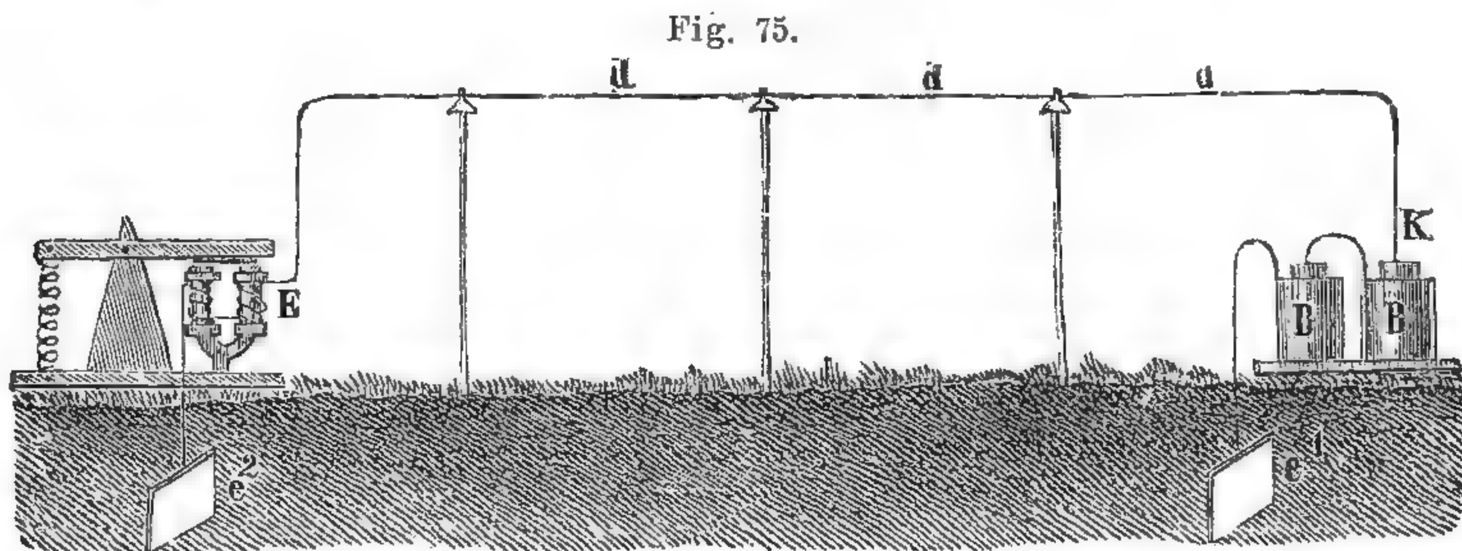
§ 41. Der elektrische Telegraph.

1. Eine sehr wichtige Anwendung des Elektromagnetismus ist ferner der **elektrische Telegraph**, welcher zuerst 1833 von Gaufs und Weber zu Göttingen zum persönlichen Gebrauch dieser beiden grofsen Gelehrten ausgeführt wurde. Er beruht darauf, dafs man durch eine galvanische Batterie einen weit entfernten Elektromagnet magnetisch machen und ihm durch Unterbrechung des Stromes sogleich seinen Magnetismus wieder nehmen kann, wenn von der Batterie bis zu ihm eine Drahtleitung führt. Vermöge seiner aufserordentlichen Geschwindigkeit durchläuft der galvanische Strom den viele Kilometer langen Weg mit Blitzesschnelle. Eine Herstellung des Stromes bewirkt in demselben Augenblick, dafs der Elektromagnet auf der anderen Station ein nahes Eisenstück anzieht, und eine Unterbrechung des Stromes hat zur Folge, dafs er dasselbe ebenso schnell wieder losläfst.

Durch die Versuche Steinheils, welcher den ersten Schreibtele-

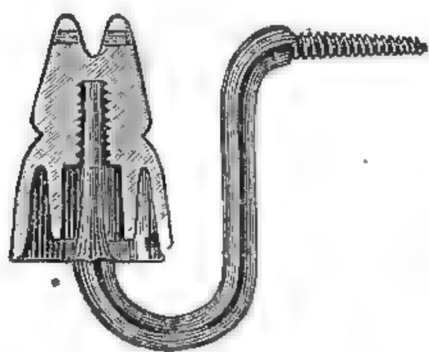
graphen erfunden hat, auf der Nürnberg-Fürther Eisenbahn wurde 1837 ermittelt, dafs **nur ein Leitungsdraht von einem Ort zum anderen** erfordert wird, und dafs die zweite Leitung durch Ableitung der entgegengesetzten Elektrizitäten in das feuchte Erdreich ersetzt werden kann. Man lötet an den einen Schliefsungsdraht der Batterie und an das eine Drahtende des Elektromagnets grofse Metallplatten, die Erdplatten e^1 und e^2 (Fig. 75), und senkt diese in den

Fig. 75.



Erdboden bis zum Grundwasserstande des Ortes ein. Die negative Elektrizität der Batterie *BB* fliefst durch die Erdplatte e^1 in den Erdboden ab; die positive nimmt ihren Weg durch die Drahtleitung *dd*, dann durch die Drahtwindungen des Elektromagnets *E* auf der anderen Station und fliefst dort durch die Erdplatte e^2 sogleich in den Erdboden ab. Aus der Batterie aber fliefst fortwährend Elektrizität

Fig. 76.



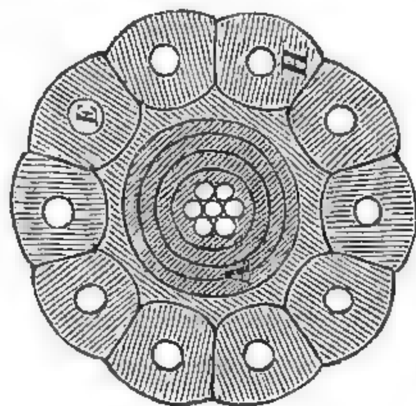
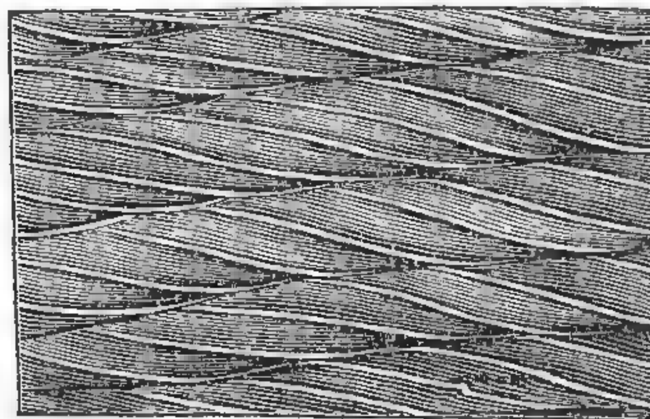


Fig. 77.

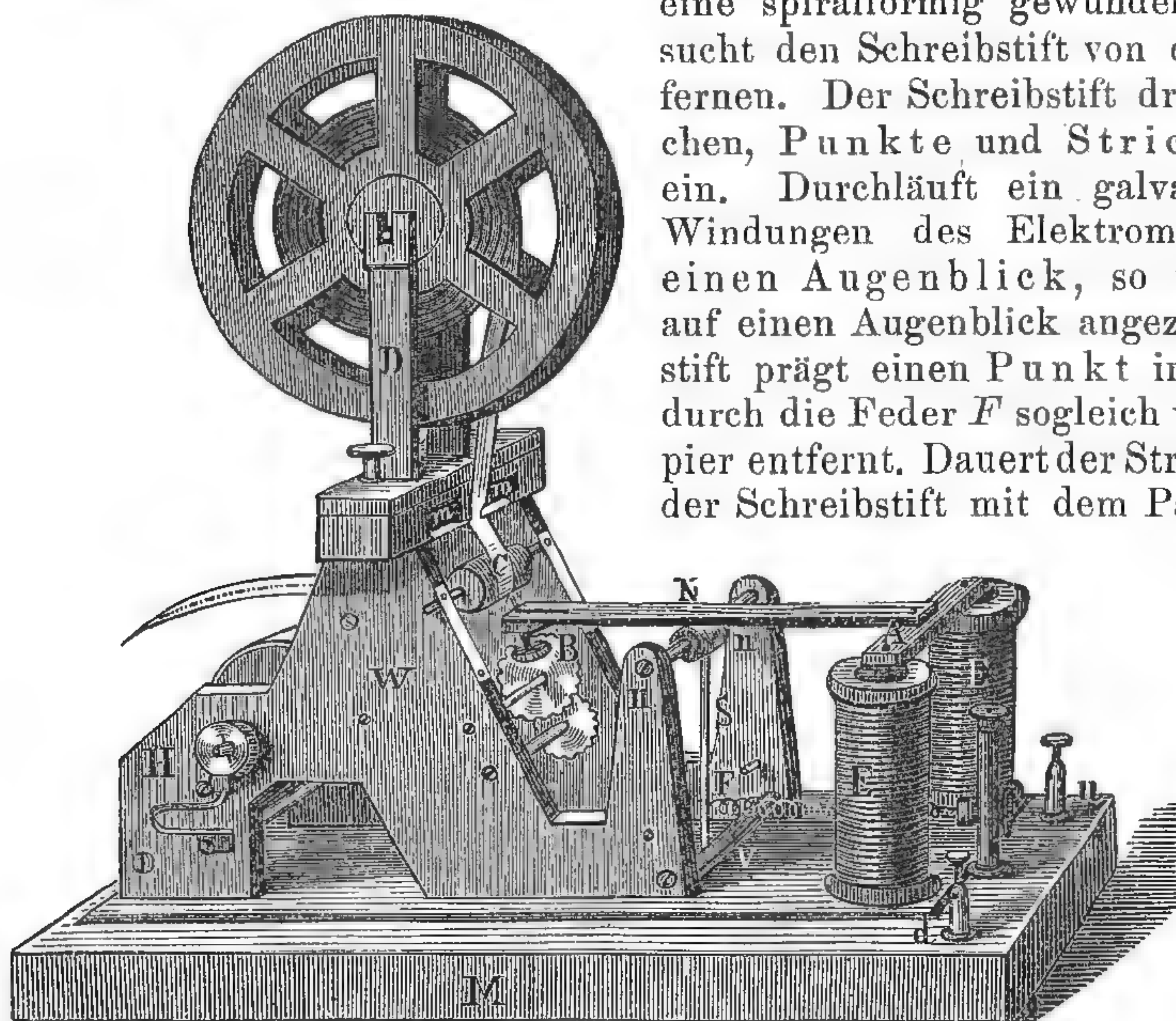


nach und durchströmt die Drahtleitung. Für die Drahtleitung über der Erde verwendet man Kupferstahldraht oder verzinkten Eisendraht. Die Drähte werden von Holzstangen getragen und sind gegen die Erde durch Porzellanglocken isoliert, welche unten und im inneren Hohlraume mit „Wassernasen“ versehen sind, damit die die Isolation gefährdenden feuchten Niederschläge leicht abtropfen können (Fig. 76). Soll die Drahtleitung in den Erdboden gelegt oder durch Wasser geführt werden, so fertigt man ein Kabel an, indem man mehrere, mit Guttapercha überzogene Kupferdrähte mit geteertem Hanf und einem schützenden Geflecht von Eisendraht umgibt (Fig. 77).

2. Am meisten sind jetzt die **Schreibtelegraphen** in Gebrauch, wie sie 1837 von Morse in Nordamerika angegeben worden sind. Der **Schreibapparat** (Fig. 78) dieses Telegraphen ist eine Vorrichtung, welche die von der anderen Station abgesandten Depeschen in einen Papierstreifen einprägt. Ein Elektromagnet *E* ist lotrecht, mit nach oben gerichteten Polen, aufgestellt; über den Polen schwebt ein eiserner Anker *A*, getragen von dem einen Ende eines zweiarmigen Hebels, der an seinem anderen Ende einen Stahlstift, den Schreibstift *B*, trägt. Über dem Schreibstift befindet sich eine Walze *C*, unter der sich ein schmaler Papierstreifen fortbewegt. Diese Walze samt dem Papierstreifen erhält ihre Bewegung durch die Reibung an einer zweiten Walze, und diese wird mittels eines

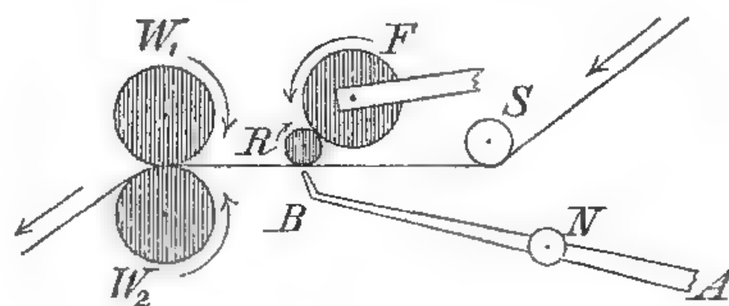
Räderwerks durch ein Gewicht oder durch eine starke Uhrfeder schnell umgedreht. An dem Hebel, welcher den Schreibstift trägt, ist ein lotrecht abwärts führender Stab befestigt, und an diesen greift eine spiralförmig gewundene Feder F und sucht den Schreibstift von dem Papier zu entfernen. Der Schreibstift drückt zweierlei Zeichen, Punkte und Striche, in das Papier ein. Durchläuft ein galvanischer Strom die Windungen des Elektromagnets nur auf einen Augenblick, so wird der Anker A auf einen Augenblick angezogen; der Schreibstift prägt einen Punkt ins Papier und wird durch die Feder F sogleich wieder von dem Papier entfernt. Dauert der Strom länger, so bleibt der Schreibstift mit dem Papier länger in Berührung und zeichnet einen Strich. Eine kürzere Unterbrechung des Stromes hat eine kürzere Lücke, eine längere Unterbrechung eine längere Lücke zwischen den Zeichen zur Folge.

Fig. 78.



Gewöhnlich wird jetzt der Morseapparat mit dem Farbschreiber (Fig. 79) benutzt. Die Spitze des Hebels ANB zeichnet dann die Punkte und Striche nicht vertieft auf dem Papierstreifen, sondern durch blaue Farbe, welche sich auf der Stirnseite des schmalen Rädchens R befindet. Der Papierstreifen wird kürzere oder längere Zeit von dem Ende B des Hebels gegen dieses Rädchen gedrückt, so dafs Punkte oder Striche entstehen, wenn sich dabei der Papierstreifen, durch die Walzen W_1 und W_2 gezogen, nach links bewegt. Die Farbe erhält das Rädchen R immer von neuem von dem Farbrädchen F, an welchem es sich berührend vorüberdreht; dieses ist an der Stirnseite mit Filz überzogen, der mit blauer Farbe getränkt ist.

Fig. 79.



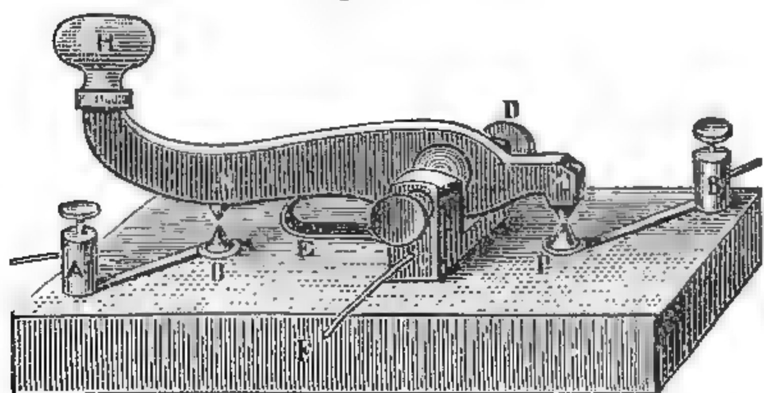
Alle Buchstabenbezeichnungen für den Schreibtelegraphen werden aus Punkten und Strichen zusammengesetzt; E wird durch einen Punkt, T durch einen Strich, A durch einen Punkt und einen Strich bezeichnet. Das Wort „deutsch“ sieht in einer Depesche so aus:

— · ·   ·   · · —   —   · · ·   — · — ·   · · · ·

3. **Der Schlüssel oder die Taste** des Schreibtelegraphen (Fig. 80), mittels dessen der Telegraphenbeamte die Depesche absendet, ist ein Stromunterbrecher. Ein aus Messing gearbeiteter zweiarmiger Hebel HNM, ungefähr von der Gestalt einer Türklinke, wird von metallenen Ständern C und D getragen; unten an beide Hebelarme sind bei N und M kleine Messingsäulen gelötet, und unter diesen sind auf das Brett zwei messingene Kegel O und P geschraubt, von denen der Ambofs O mit der Klemmschraube A und der Kegel P mit der Klemmschraube B metallisch leitend verbunden ist. In der Ruhelage des Schlüssels entfernt eine Feder E den Hammer N von dem Ambofs O. Ist daher der eine Schliefsungsdraht der Batterie an der Klemmschraube A befestigt, und führt von dem Ständer C der Leitungs-

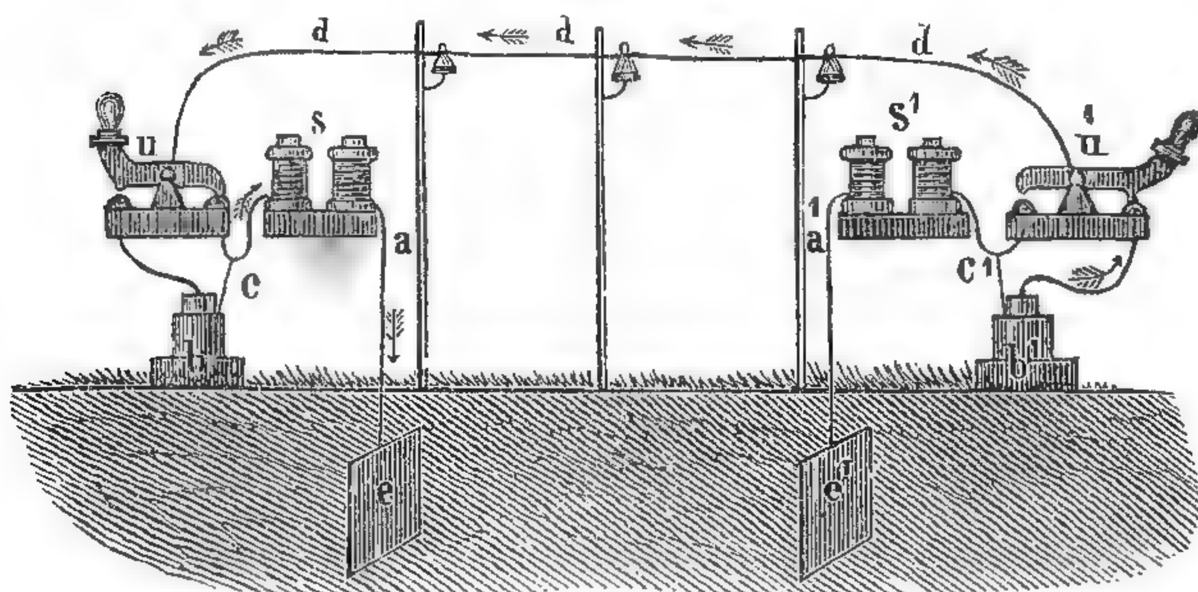
draht nach der anderen Station, so ist der Strom bei N zwischen Ambofs und Hammer unterbrochen; bringt aber der Telegraphist durch Niederdrücken des Handgriffs H den Hammer in Berührung mit dem Ambofs, so ist der Strom hergestellt. Soll eine Depesche abgehen, so drückt der Telegraphist den Schlüssel schnell hintereinander wiederholt nieder; infolge davon wird auf der anderen Station der Anker vom Elektromagnet des Schreibapparats wiederholt angezogen und macht dort durch sein Klappern den Telegraphisten aufmerksam; derselbe setzt das Räderwerk seines Schreibapparats in Bewegung, und das Telegraphieren kann beginnen.

Fig. 80.



4. Um von jeder Station aus telegraphieren und auf jeder Depeschen empfangen zu können, ist jede (Fig. 81) mit einer Batterie b und b^1, dem Schlüssel u und u^1 und dem Schreibapparats und s^1 ausgerüstet. In Station I hat der Telegraphist den Schlüssel niedergedrückt. Während die negative Elektrizität der dortigen Batterie b^1 in den Erdboden hinwegströmt, gelangt der positive Strom über den Ambofs und Hammer des Schlüssels u^1 und die Drahtleitung dd nach Station II, geht dort über den Kegel des Schlüssels, um den Elektromagnet des Schreibapparats s und fliefst durch den Draht a und die Erdplatte e in den Erdboden. Für die Batterie b^1 ist daher die Leitung hergestellt, und der Schreibstift der zweiten Station verzeichnet die ankommende Depesche*).

Fig. 81.



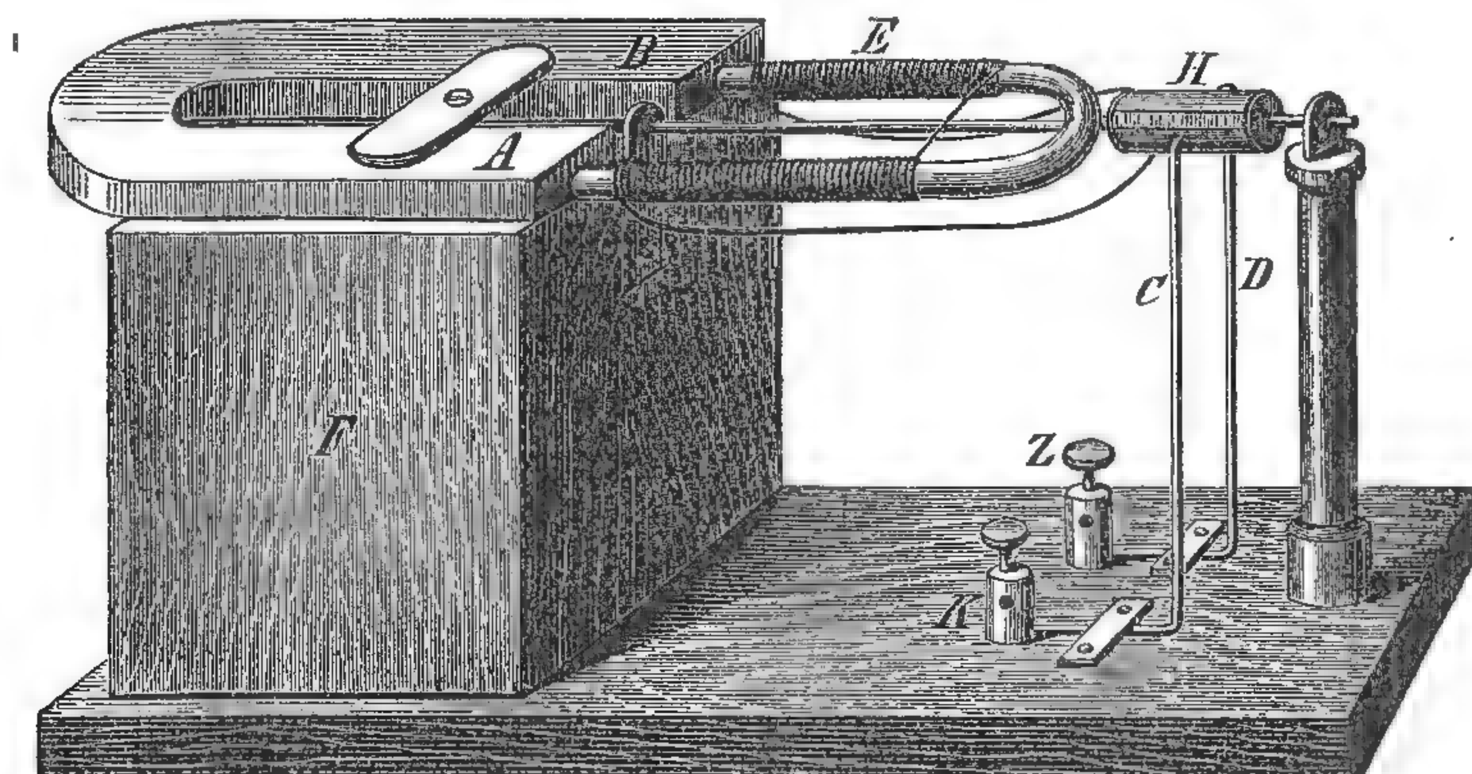
§ 42. Elektromagnetische Kraftmaschinen.

Wegen des sehr starken Magnetismus der Elektromagnete wurden dieselben früher auch zum Treiben von Maschinen angewandt. **Die elektromagnetische Kraftmaschine** von Ritchie (Fig. 82) besteht aus zwei Elektromagneten; der eine, dessen Leistung auch ein Stahlmagnet AB übernehmen kann, ist unbeweglich und in liegender Stellung befestigt. Der zweite Elektromagnet E wendet seine Pole denen des ersten zu und kann sich um eine wagerechte Achse drehen. Der bewegliche Elektromagnet mufs sich so stellen, dafs sein Nordpol dem Südpol des festliegenden Elektromagnets nahe ist; wechselt aber dann der rotierende Elektromagnet seine Pole, so wird sein Südpol von dem Südpol des anderen abgestofsen, und er dreht sich, bis sein Südpol dem Nordpol des unbeweglichen Magnets nahe ist; dann mufs der rotierende Elektromagnet wieder seine Pole wechseln und wird dadurch in drehender Bewegung erhalten. — Das Wechseln der Pole nach jeder halben Umdrehung führt der rotierende Elektromagnet selbst aus. Der Kommutator H besteht aus zwei sich zugleich mit ihm umdrehenden, aber von seiner Achse durch einen Holzzylinder getrennten messingenen Halbringen, die einander nirgends berühren; an jeden Halbring ist das eine Ende von

*) Auf den grofsen Telegraphenstationen sind neben den Morseschen Telegraphen **Typendrucktelegraphen** in Gebrauch, welche vom Professor Hughes aus Amerika erfunden sind. Dieselben arbeiten schneller und liefern Depeschen, welche mit gewöhnlichen Buchstaben gedruckt sind, haben aber eine sehr verwickelte Einrichtung. Über das Telegraphieren ohne Drahtleitung siehe § 46, 3, b.

dem Umwicklungsdraht des Elektromagnets gelötet, und auf jeden drückt eine Metallfeder *C* und *D*, an welche (bei *K* und *Z*) die Schliefsungsdrähte der galvanischen Kette geschraubt werden. Der positive Strom tritt bei *K* in die Feder *C*, geht auf den einen Halbring über, durchläuft die Windungen des Elektromagnets *E*, kommt zum anderen Halbring und durch die andere Feder *D* zur Kette zurück. Der bewegliche Elektromagnet erhält dem Südpol des unbeweglichen gegenüber gleichfalls einen Südpol und beginnt, von ihm abgestofsen, sich zu drehen. Nach einer halben Umdrehung befindet sich der andere Arm des rotierenden Elektromagnets vor dem Südpol; aber mit

Fig. 82.



diesem Arm hat sich zugleich sein Halbring gedreht, er empfängt durch diesen von *K* her den positiven Strom, wird ein Südpol und wird deshalb gleichfalls abgestofsen. Auf diese Weise setzt sich die rotierende Bewegung fort. — Grofse elektromagnetische Kraftmaschinen hat schon der Erfinder der Galvanoplastik, Jakobi in Petersburg, gebaut. Er brachte in dem Umkreis einer feststehenden Scheibe acht Elektromagnete an; vor derselben befand sich eine bewegliche Scheibe, ebenfalls mit acht Elektromagneten, und wurde dadurch, dafs diese ihre Pole wechselten, in drehende Bewegung gesetzt. Eine solche Maschine wurde auf einem Boote angebracht und vermochte es mit einer Bemannung von vierzehn Mann auf der Newa zu bewegen.

§ 43. Magnetisches Feld des elektrischen Stromes. Solenoid. Amperemeter, Voltmeter. Hefner-Altenecks Differentiallampe.

1. **Magnetisches Feld des elektrischen Stromes.** Man führe einen blanken Kupferdraht einmal oder in Spiralform mehrmals kreisförmig durch ein starkes Stück Papier, welches man wagerecht anbringt und mit Eisenfeilspänen bestreut. Schickt man einen Batteriestrom durch den Draht und erschüttert das Papier ein wenig, so ordnen sich die Eisenfeilspäne so, als ob sich an Stelle des Drahtkreises oder der Drahtspirale ein Magnetstab befände, der auf der Stromebene senkrecht stünde (Fig. 83). Es gilt der Satz: **In der Nähe eines elektrischen Stromes befindet sich ein magnetisches Feld.**

Fig. 83.

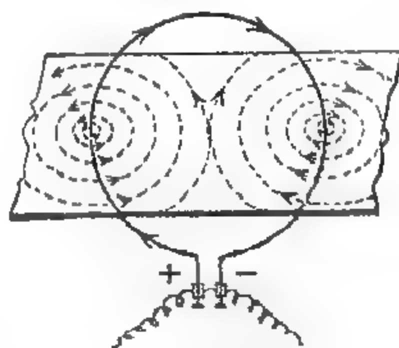
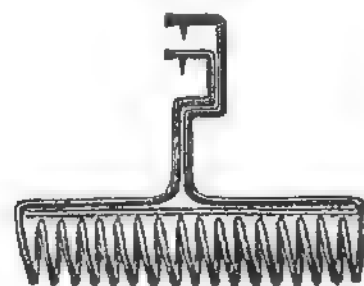


Fig. 84.



2. **Das Solenoid.** Ein Kupferdraht ist zu einer Spirale gewunden, und seine beiden Enden sind so gebogen, dafs sie beide in der lotrechten Schwerlinie der Vorrichtung übereinanderliegen. Die beiden Spitzen lassen sich dann in zwei kleine Quecksilbernäpfchen einsetzen, welche sich in dem gleichen Abstande ebenfalls lotrecht übereinander befinden, und zu denen die Schliefsungsdrähte einer galvanischen Batterie führen (Fig. 84). Der Batteriestrom tritt dann durch das eine

Quecksilbernäpfchen in die Drahtrolle ein und durch das andere hinaus. Eine als Stromleiter hergestellte und spiralförmig gewundene Drahtrolle heifst **Solenoid.**

a. Hängt man das Solenoid in die Quecksilbernäpfchen frei beweglich ein und läfst den galvanischen Strom eintreten, so stellt sich das Solenoid mit seiner Längsachse, wie eine Deklinationsnadel, so in die Richtung des magnetischen Meridians ein, dafs für den von Süd nach Nord schauenden Beobachter der Strom im Sinne des Uhrzeigers kreist. Die Drahtrolle stellt sich also so ein, wie sich ein beweglicher Elektromagnet einstellen würde.

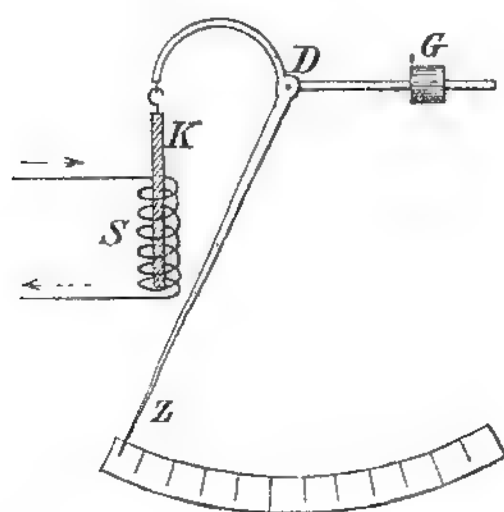
b. Nähert man dem nach Süden gerichteten Ende des Solenoids den Nordpol eines Stahlmagnets, so findet Anziehung statt; Abstofsung tritt ein, wenn man den Südpol des Stahlmagnets in die Nähe bringt. Die entsprechenden Erscheinungen zeigen sich an dem nach Norden gerichteten Ende der Drahtrolle. Es gilt der Satz: **Eine spiralförmig gewundene Drahtrolle, welche von einem elektrischen Strome durchflossen wird, hat alle wesentlichen Eigenschaften eines Magnets.**

Eine Folge dieser Erscheinung war es, dafs Ampère (Professor am Collège de France zu Paris, geb. 1775, gest. 1836) die Meinung aussprach, jeder Magnet oder Elektromagnet sei ein Stahl- oder Eisenstück, welches an seinem Umfange von elektrischen Strömen umkreist werde, womit der Magnetismus auf eine Erscheinungsform der Elektrizität zurückgeführt wäre.

3. **Amperemeter, Voltmeter.** a. Versuch. Man umwickle eine enge, etwa 3 cm lange Glasröhre mit einem 12 m langen, besponnenen Kupferdraht (in demselben Sinne) und schicke den Strom eines Daniellschen Elementes durch die Rolle. Die mit der Achse lotrecht gehaltene Rolle zieht dann einen dünnen Eisenstift von gleicher Länge in sich hinein und erhält ihn schwebend. **Eine hohle, von einem elektrischen Strome durchflossene Drahtrolle zieht einen Eisenstab in sich hinein.**

b. Darauf beruhen die in der Technik gebrauchten Apparate zum Messen der Stromstärke, die **Amperemeter**, und die Apparate zum Messen der elektromotorischen Kraft oder die **Voltmeter.**

Fig. 85.



Amperemeter. Ein Eisenstab K (Fig. 85) hängt an einem durch ein Gegengewicht G im Gleichgewicht gehaltenen Hebel, der sich um die Achse D drehen kann. Um den unteren Teil des Eisenstabes K führt eine Spirale S, in welche der Eisenstab K um so stärker hineingezogen wird, je stärker der elektrische Strom, d. h. je gröfser die Zahl der Ampere ist, welche die Spirale durchfliefsen. Die verschiedene Stellung des Hebels ruft verschiedene Stellungen des Zeigers Z hervor, der auf einer kreisbogenförmigen Teilung spielt, auf welcher die Zahl der Ampere abgelesen werden kann.

Das Voltmeter ist nicht anders gebaut als das Amperemeter, nur besteht die Spirale S des Voltmeters aus so langen und dünnen Drähten, und ihr Widerstand ist daher so grofs, dafs der Widerstand der Stromquelle dagegen äufserst gering ist und vernachlässigt werden kann. In der Gleichung für die Stromstärke (S. 44) ist dann, welches auch die Stromquelle sei, der Gesamtwiderstand als unveränderlich zu betrachten, und daher vervielfältigt sich die Gröfse der elektromotorischen Kraft oder die Zahl der Volt wie die Stromstärke oder die Zahl der Ampere. Daher kann auf der Skala statt der Anzahl der Ampere die Zahl der Volt angebracht werden.

c. Erklärung. Sieht man die stromdurchflossene Spule in der Richtung ihrer Achse so an, dafs der Strom in der Richtung des Uhrzeigers geht, so hat man den Südpol des Solenoids vor sich, und ein in der Achsenrichtung der Spule von dieser Seite herangebrachter Eisenstab bekommt durch Verteilung in der Nähe des Solenoids einen Nordpol, auf der anderen Seite einen Südpol (Fig. 86). Da aber jede einzelne Windung der stromdurchflossenen Spule die magnetische Eigenschaft hat, so mufs der Eisenstab in die Spule hineingezogen werden (Fig. 87) und kann erst zur Ruhe kommen, wenn er ganz darin ist.

4. **Hefner-Altenecks Differentiallampe** (Fig. 86) beruht ebenfalls auf der Kraft stromdurchflossener Drahtspulen, Eisenstäbe in sich hineinzuziehen. Die Vorrichtung enthält einen zweiarmigen metallenen Hebel *mn*, der sich um den Punkt *v* drehen läſst. Der eine Arm des Hebels hält einen Eisenstab *s* in lotrechter Stellung; an dem anderen Arm hängt eine Stangenverbindung *b* und der obere Kohlenstab *r*. Die metallene Leitung, welche durch die Lampe von der Klemmschraube k^1 bis k^2 führt, teilt sich bei *a* in zwei Zweige. Der Hauptzweig führt von der Klemmschraube k^1 zu einer Rolle *u* aus dickem Kupferdraht, welcher befestigt ist und das untere Stück des leicht beweglichen Eisenstabes *s* umgibt, dann zu dem Punkt *v*, über den Hebel, die Stangenverbindung *b*, die Kohlenstäbe *r* und r^1 und die Metallstangen *d* und *h* nach der Schraube k_2. Der Nebenzweig der Leitung führt zu einer Rolle *o* aus dünnem, langem Draht, welche den oberen Teil des Eisenstabes *s* umgibt, und von da durch einen Draht *p* zur Schraube k^2. Brennen die Spitzen der Kohlen so weit ab, daſs der Widerstand, den der Strom zwischen den Spitzen findet, zu groſs wird, so erlischt für einen Augenblick der Flammenbogen, und der Strom nimmt seinen Weg allein durch die obere Spirale *o*; daher wächst die magnetische Kraft dieser Spirale, und sie zieht den Eisenstab *s* nach oben. Dadurch geht der Hebelarm *vn* nach unten, die Kohlenspitzen nähern sich, der Strom flieſst wieder durch die stärkere Spirale und erzeugt wieder den Flammenbogen. Weil jetzt die untere Leitung den geringeren Widerstand bietet, wird die obere Spirale fast stromlos, und der Eisenstab *s* wird stärker in die untere Spirale hineingezogen, bis wegen des zu groſsen Widerstandes in der unteren Leitung die obere Spirale wieder an Kraft gewinnt und die obere Kohle wieder nach unten treibt, so daſs die Kohlenspitzen dauernd in gleicher Entfernung voneinander erhalten werden.

Fig. 86.

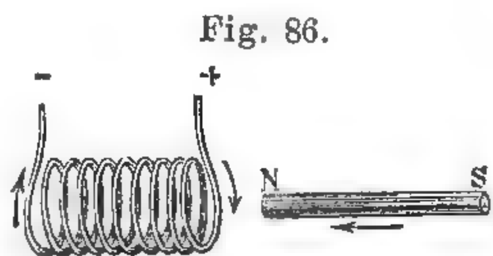


Fig. 87.

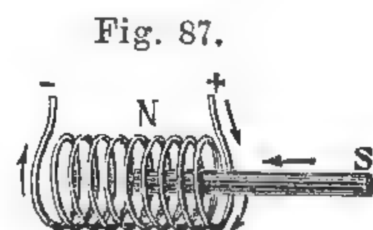
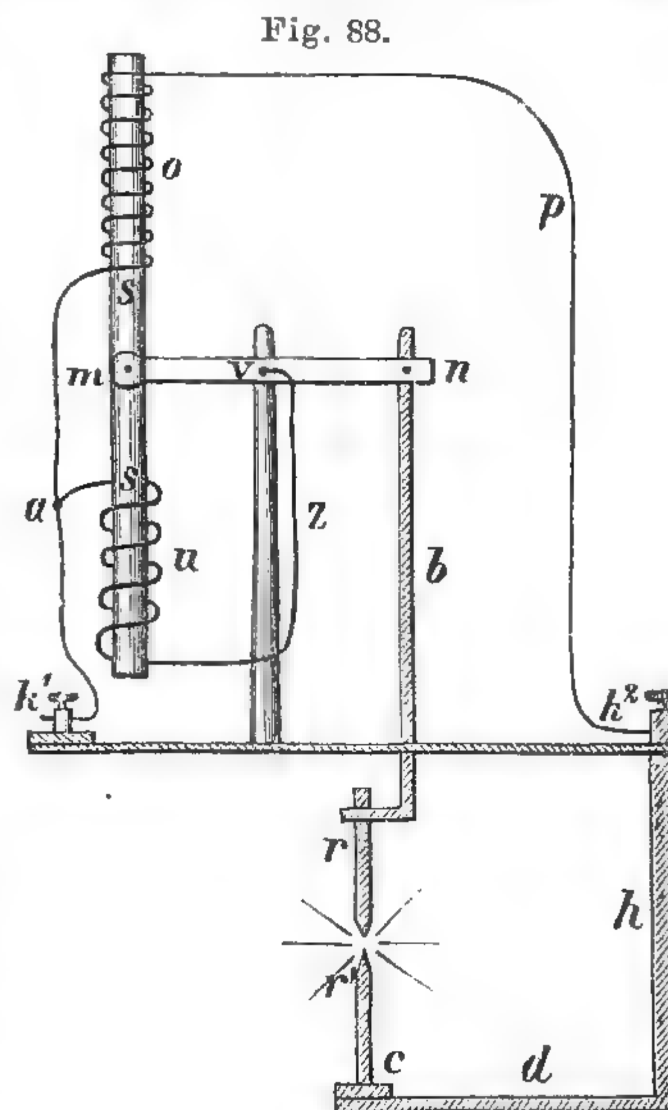


Fig. 88.



3. Elektrische Induktionsströme.

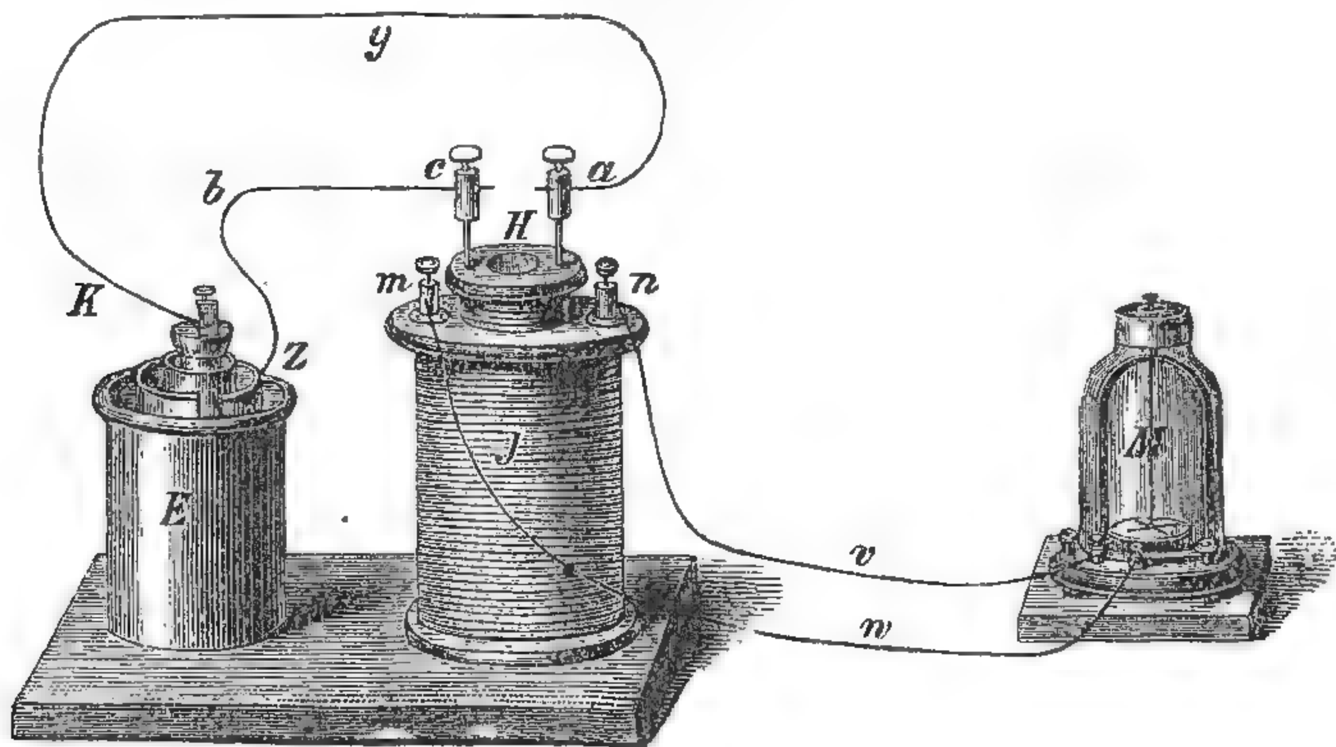
§ 44. Elektrische oder Volta-Induktion.

1. Eine hohle Holzrolle *J* ist (Fig. 89) in sehr vielen Windungen mit dünnem, besponnenem Kupferdraht bewickelt, dessen Enden *v* und *w* an einen Multiplikator *M* geschraubt sind. In diese Rolle stellt man eine zweite Rolle *H*, die mit dickerem Draht umwunden ist, und deren Drahtenden *a* und *c* mit den Polen eines galvanischen Elements verbunden sind.

In den Draht *agK* schaltet man einen Stromunterbrecher ein. a. **Erster Versuch.** Man schlieſst den galvanischen Strom, der durch die innere Rolle, die Hauptrolle oder Primärrolle *H* flieſst. Der Ausschlag der Galvanometernadel, welcher sofort erfolgt, zeigt, daſs auch in der äuſseren Rolle, der Nebenrolle oder Sekundärrolle *J*, ein elektrischer Strom, ein Nebenstrom oder Sekundärstrom, entstanden ist, welcher aber nur kurze Dauer hat, denn die

Galvanometernadel kehrt in ihre Ruhelage zurück, wenn der durch die Hauptrolle fließende *Hauptstrom* oder *Primärstrom* geschlossen bleibt. Wird der Hauptstrom unterbrochen, so schlägt die Galvanometernadel nach der anderen Seite aus, kehrt aber bald wieder in die Ruhelage zurück. Es ist also in der Nebenrolle wieder ein Nebenstrom oder Sekundärstrom von kurzer Dauer entstanden, dessen Richtung aber dem zuerst hervorgerufenen Nebenstrome entgegengesetzt ist. *Der Vorgang der Erregung elektrischer Ströme in benachbarten Elektrizitätsleitern durch andere elektrische Ströme heifst die* **elektrische Induktion** oder **Volta-Induktion.** Die in der Nebenrolle erzeugten Ströme heifsen *Induktionsströme* oder *induzierte Ströme*; der durch den *Vorgang des Schliefsens* des Hauptstromes in der Nebenrolle erzeugte Induktionsstrom heifst *Schliefsungsstrom*, während man den in der Nebenrolle durch *Öffnung* oder *Unterbrechung* des Hauptstromes hervorgebrachten Induktionsstrom den *Öffnungsstrom* nennt. Beachtet man die *Richtung des Hauptstromes in der Hauptrolle* und schliefst aus den Galvanometerausschlägen *auf die Richtung des Schliefsungsstromes* und *des Öffnungsstromes in der Nebenrolle*, so findet man, *dafs der Schliefsungsstrom zum*

Fig. 89.



Hauptstrom entgegengesetzte Richtung hat, der Öffnungsstrom aber mit dem Hauptstrom gleichgerichtet ist. b. **Zweiter Versuch.** Man hebt Zink und Kohle des galvanischen Elements ein wenig aus dem Element heraus und senkt dann wieder tiefer ein. Dadurch ist zuerst der innere Widerstand im Element gröfser, dann wieder kleiner geworden, also der Strom erst schwächer, dann stärker. Die Ausschläge der Galvanometernadel zeigen, *dafs bei Schwächung des Hauptstromes ein Induktionsstrom von kurzer Dauer entsteht, der dem Öffnungsstrom* (siehe 1. Versuch) *gleichgerichtet ist; der durch Verstärkung des Hauptstromes erzeugte Induktionsstrom hat gleiche Richtung mit dem* Schliefsungsstrom. c. **Dritter Versuch.** Man nähert die engere Rolle rasch der weiteren, während ein Strom durch die engere Rolle fliefst, in der Richtung der Achsen und schiebt die engere in die weitere Rolle hinein; dann entfernt man die Hauptrolle wieder rasch von der Nebenrolle. Es entstehen, wie die Galvanometernadel zeigt, *bei der Annäherung der Rollen aneinander kurzdauernde Induktionsströme, von der Richtung* der Schliefsungsströme, *bei Entfernung Induktionsströme von der Richtung der Öffnungsströme. Über die Volta-Induktion gelten die Sätze:*

Elektrische Induktionsströme entstehen in einer geschlossenen Leitung, wenn in ihrer Nähe ein elektrischer Strom in einer parallelen Leitung entsteht oder auf-

hört, stärker oder schwächer wird, und wenn der geschlossenen Leitung in einem parallelen Leiter ein Strom genähert oder von ihr entfernt wird.

2. Die Schliefsungsströme, sowie die Induktionsströme bei der Verstärkung des Hauptstromes und der Annäherung seiner Leitung sind dem Hauptstrom entgegengesetzt gerichtet; die Öffnungsströme, sowie die Induktionsströme bei Schwächung und Entfernung des Hauptstromes sind gleichgerichtet zum Hauptstrom. Induktionsströme sind daher **Wechselströme** oder alternierende Ströme, und weil sie nur einen Augenblick dauern, sind es momentane Ströme*). Entfernt man die Enden des dünnen Drahtes etwas voneinander, so sieht man zwischen ihnen überspringende Funken, wie bei einem durch Reiben elektrisierten Leiter, an welchem der Ladungsgrad der Elektrizität gröfser ist als bei den gewöhnlichen galvanischen Strömen. Die Induktionsströme haben einen höheren Ladungsgrad, als die gewöhnlichen galvanischen Ströme, und überwinden leichter in der Leitung vorhandene Widerstände; sie bringen deshalb auch die Erscheinungen der Reibungselektrizität hervor und zeichnen sich besonders durch lebhafte physiologische und kräftige Lichtwirkungen aus.

§ 45. Die Magnet-Induktion.

Wir entfernen von der Vorrichtung (Fig. 89 S. 54) die innere Rolle und das galvanische Element. Die Rolle *J* wird durch lange Drähte mit dem mehrere Meter entfernten Galvanometer verbunden. In die Rolle *J* setzen wir einen kurzen Eisenstab von der Länge der Rolle. Nähert man nun dem Eisenstab von oben her einen lotrecht gehaltenen Stahlmagnet, so wird die Magnetnadel auf einen Augenblick abgelenkt; dasselbe geschieht, jedoch in entgegengesetzter Richtung, wenn man den Magnet entfernt. Durch einen bewegten Magnet werden daher elektrische Ströme hervorgerufen, die nur einen Augenblick dauern. Die Erregung von elektrischen Strömen durch Magnete heifst die **Magnet-Induktion oder magnetelektrische Induktion.** Die durch Magnete hervorgebrachten Ströme werden magnetelektrische Ströme oder Magnet-Induktionsströme genannt.

Wenn ein Magnet dem in der Induktionsrolle stehenden Eisenstab genähert wird, so entsteht in diesem durch Verteilung Magnetismus; bei Entfernung des Magnets hört der Magnetismus auf. Magnetelektrische Ströme verschiedener Richtung entstehen daher in einer geschlossenen Leitung, wenn in ihrer Nähe Magnetismus entsteht oder aufhört. — Nimmt man statt des unmagnetischen einen schwach magnetischen Eisenstab, und nähert man ihm den ungleichnamigen Pol eines Magnets, so erfolgt wieder eine Ablenkung der Magnetnadel; desgleichen bei Entfernung des Magnets. Bei Annäherung des Magnets wird der Magnetismus des Eisens stärker, bei Entfernung des Magnets schwächer. Magnetelektrische Ströme verschiedener Richtung entstehen daher in einer Leitung, wenn in ihrer Nähe Magnetismus stärker oder schwächer wird. Schiebt man einen Magnet in die Induktionsrolle und entfernt ihn wieder, so erfolgen zwei Ablenkungen der Magnetnadel nach verschiedenen Seiten. Magnet-Induktionsströme verschiedener Richtung entstehen daher in einer Leitung, wenn dieselbe einem Magnet genähert oder von ihm entfernt wird.

---

*) Im Gegensatz zu Wechselströmen heifst ein Strom, dessen Richtung sich gleich bleibt, ein Gleichstrom. Die durch galvanische Elemente entstehenden Ströme sind Gleichströme.

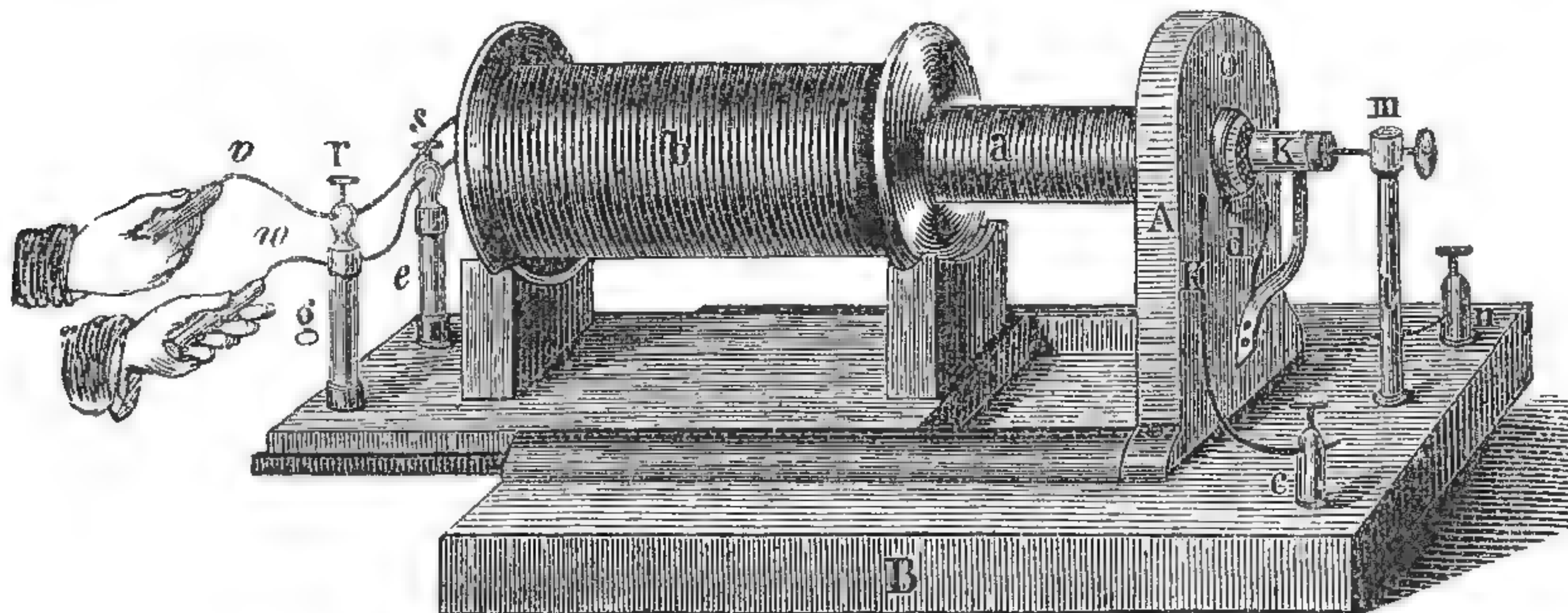
Gesetz: Magnet-Induktionsströme entstehen in einer geschlossenen Leitung, wenn in ihrer Nähe Magnetismus entsteht oder aufhört, stärker oder schwächer wird, und wenn die Leitung einem Magnet genähert oder von ihm entfernt wird.

Die bei diesen entgegengesetzten Vorgängen aufeinanderfolgenden magnetelektrischen Induktionsströme haben jedesmal entgegengesetzte Richtungen. Es sind Wechselströme und, weil sie nur einen Augenblick dauern, momentane Ströme. Die Induktionserscheinungen sind 1831 von Faraday entdeckt worden.

§ 46. Apparate und Maschinen zur Erzeugung elektrischer, magnetelektrischer und dynamoelektrischer Induktionsströme.

1. **Der Induktionsapparat** für physiologische Wirkungen (Fig. 90). Um eine hohle, hölzerne Rolle *a*, welche wagerecht befestigt ist, ist ein besponnener Kupferdraht von 33 m Länge gewickelt. Über diese Hauptrolle läfst sich eine zweite, die Induktionsrolle oder Nebenrolle *b*, schieben, um die ein 100 m langer dünner Draht gewickelt ist. Innerhalb der Rolle *a* befindet sich ein Bündel eiserner Drähte, die gegeneinander isoliert sind. Wird durch die Hauptrolle *a* ein galvanischer Strom geleitet, so werden im Augenblick seiner Entstehung oder Unterbrechung in der anderen Rolle Induktionsströme erregt, die stark auf

Fig. 90.



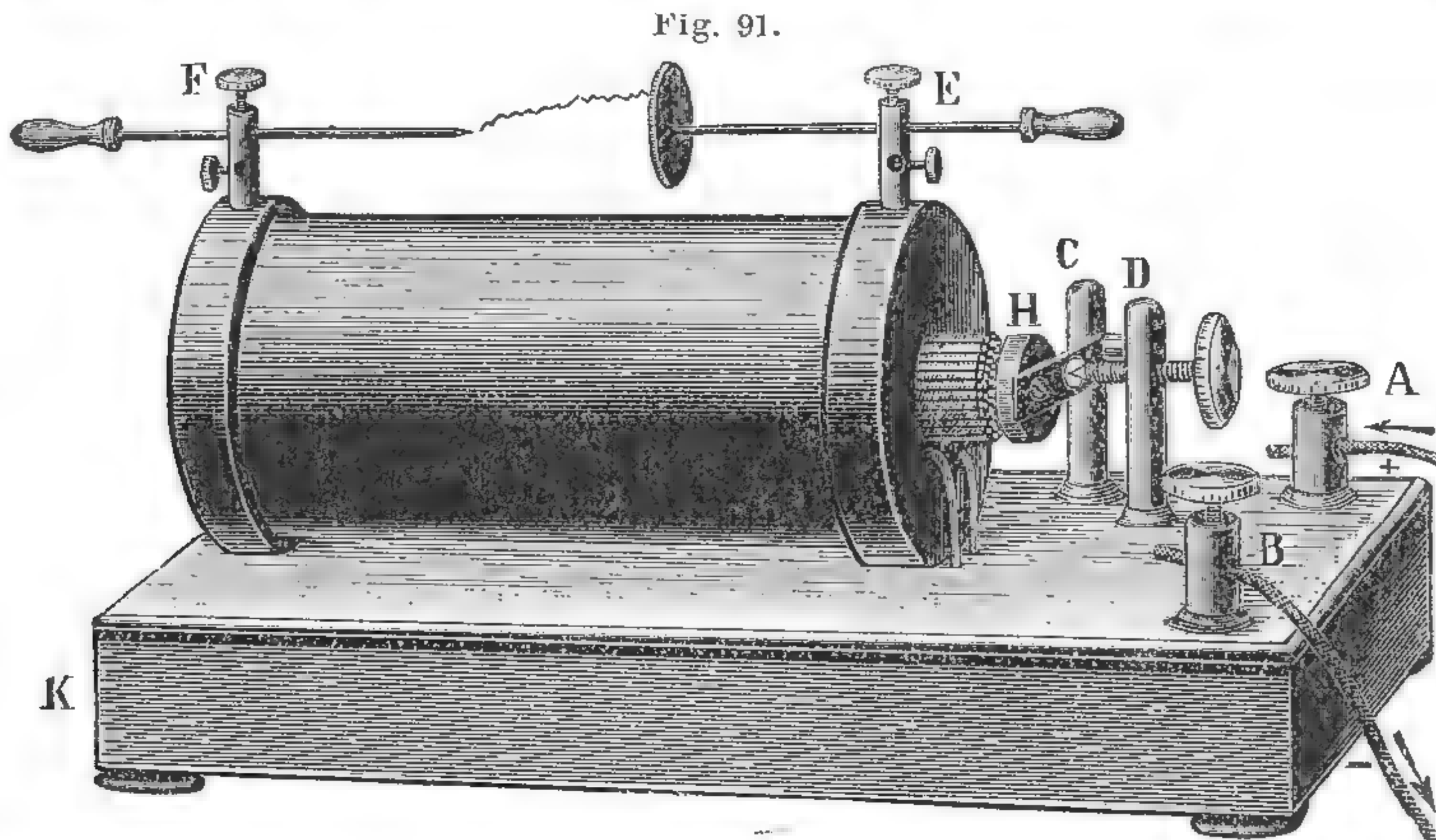
den menschlichen Körper wirken und in der Heilkunde vielfach Anwendung finden. Wirkt nur ein Teil der Hauptrolle *a* auf die Induktionsrolle *b*, so sind die Wirkungen schwach; je weiter die Induktionsrolle über die Hauptrolle geschoben wird, desto stärker sind die physiologischen Wirkungen.

Der Induktionsapparat ist mit einem Stromunterbrecher, **dem elektromagnetischen** Wagnerschen oder Neefschen **Hammer**, versehen, welcher selbst den Strom unterbricht und wiederherstellt. Ein kleiner eiserner Hammer *K* wird von einem federnden Messingstreifen so getragen, dafs er sich leicht nach rechts und links bewegen kann; auf der rechten Seite ist an ihn ein kleines Platinblech gelötet; mit demselben berührt er die metallene Schraube *m*, deren Spitze ebenfalls aus Platin gearbeitet ist. Die Schraube *m* wird von einer messingenen Säule *l* getragen, und diese ist durch einen Draht mit der Klemmschraube *n* verbunden. Die in der Hauptrolle *a* angebrachten eisernen Drähte ragen etwas hervor, und weil sie durch den Hauptstrom magnetisch werden, ziehen sie den eisernen Hammer an. Der vom galvanischen Element kommende Strom durchläuft von *c* aus zuerst die Windungen der Rolle *a*, gelangt von dem Ende derselben, dem Drahte *d*, zu dem federnden Stiel und dem Kopfe des Hammers *K*, tritt von hier aus zur Schraube *m* über und kehrt durch die Säule l und die Klemmschraube *n* zum galvanischen Element zurück. Ist auf diese Weise der Strom geschlossen, so werden die Eisendrähte in *a* magnetisch, ziehen den Hammer an und entfernen ihn von

der Schraube *m*; dadurch wird der Strom unterbrochen. Durch die Unterbrechung werden die Eisendrähte aber wieder unmagnetisch; der federnde Stiel entfernt den Hammer *K* von ihnen, bringt ihn mit der Schraube *m* in Berührung und stellt so den Strom wieder her. Darum bleibt der Hammer dauernd in Bewegung, und an der Unterbrechungsstelle zwischen *K* und *m* nimmt man fortwährend Funken wahr. Das Entstehen und Vergehen des Magnetismus in den Eisenstäben wirkt aber auf die Nebenrolle in demselben Sinne induzierend wie das Entstehen und Vergehen des Hauptstromes, so dafs die Induktionsströme verstärkt werden.

2. Seit 1851 gibt es gröfsere Induktionsapparate, welche **Funkeninduktoren** oder nach ihrem Erfinder **Ruhmkorffsche Apparate** heifsen; der Draht der Induktionsrolle ist sehr dünn und bei Apparaten mit grofser Funkenstrecke bis 100 000 m lang*). Fig. 91 stellt einen Funkeninduktor mittlerer Gröfse dar. *A* und *B* sind die Klemmschrauben für die von der Batterie oder der sonstigen Elektrizitätsquelle

Fig. 91.

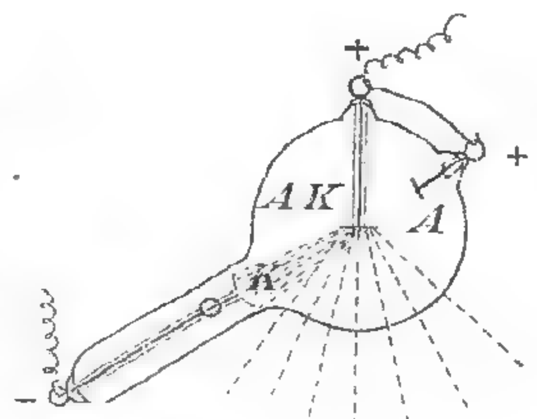


kommenden Drähte, durch welche der Hauptrolle der Strom zugeleitet wird. Von der Klemme *A* geht der Strom in die Messingsäule *C* und tritt durch die den Neefschen Hammer tragende Metallfeder in die wagerechte Schraube der Säule *D* ein, von welcher er nach *B* geleitet ist. Die Unterbrechung des Hauptstromes erfolgt jedesmal, wenn das aus der Spule herausragende Eisendrahtbündel den Hammer *H* anzieht, an der Stelle, an welcher die den Hammer tragende Feder in der Ruhe-

Fig. 92.



Fig. 93.



lage die Schraube der Säule *D* berührt. Nach *E* und *F* laufen die Enden der Induktions- oder Nebenrolle. Die Wirkungen eines Funkeninduktors auf den menschlichen Körper sind lebensgefährlich; Nichtleiter zwischen den Drahtenden der Nebenrolle werden durchbohrt, leicht brennende Stoffe entzündet, Eisendrähte werden glühend. Es springen zwischen den Draht-

*) Induktionsapparate bilden elektrische Ströme um; es lassen sich Ströme von grofser Elektrizitätsmenge oder Stromstärke und geringem Ladungsgrade umgestalten in Ströme von geringer Stromstärke aber hohem Ladungsgrade und umgekehrt. Allgemein heifsen Apparate, welche zur Umbildung elektrischer Ströme dienen, **Transformatoren.**

enden Funken von beträchtlicher Länge über, und es zeigen sich prachtvolle Lichterscheinungen, wenn man mit den Drahtenden der Nebenrolle die kurzen Platindrähte einer **Geifslerschen Röhre oder Vakuumröhre** verbindet, einer Glasröhre, die luftleer gemacht ist und sehr wenig Dampf oder Gas enthält (Fig. 92). Befindet sich in einer solchen Röhre sehr wenig atmosphärische Luft, so erscheint die Kathode oder Austrittstelle des Stromes in tiefblauem Lichte; von der Anode aber geht ein purpurroter Lichtschein aus, welcher schichtweise fast die ganze Röhre füllt.

3. **Anwendungen der Funkeninduktoren.** a. **Röntgen-Strahlen.** Professor Röntgen hat 1895 in Würzburg entdeckt, dafs von einer Vakuumröhre, wenn darin die Luft in sehr hohem Mafse verdünnt ist und starke Induktionsströme hindurchgeleitet werden, eine besondere Art von Strahlen ausgeht. Die **Röntgen-Strahlen oder X-Strahlen** entstehen da, wo die von der Kathode ausgesandten, unsichtbaren Kathodenstrahlen, einen grünen Fluoreszenzfleck erzeugend, die Glaswand der luftleeren Röhre oder eine innerhalb der Röhre angebrachte Platinscheibe treffen. Man läfst die Kathodenstrahlen von einer ausgehöhlten Aluminium-Kathode *K* (Fig. 93) ausgehen und auf eine schräg gestellte Platinscheibe, die Antikathode *A-K*, fallen, welche aufserhalb der Röntgenröhre mit der ebenfalls aus Aluminium bestehenden Anode *A* leitend verbunden ist. An dieser Antikathode entstehen die Röntgen-Strahlen, werden von hier aus nach einer Seite hin gesandt und treten aus der Röhre aus. Sie sind dunkel und unsichtbar, sie dringen durch Holz, Zeug und andere Körper, während sie von dichteren Körpern, z. B. Knochen, weniger gut und von Metallen nicht durchgelassen werden. Sie bringen fluoreszierende Körper (§ 158, 4) — z. B. Bariumplatincyanür zum Leuchten und haben kräftige chemische Wirkungen, besonders auf die von den Photographen benutzten, mit einem Silbersalz überzogenen Platten. In einem dunklen Zimmer wird eine Bromsilbergelatineplatte (§ 154) in einen Umschlag von dunklem Leder gelegt und dann in den vom Tageslicht erhellten Raum gebracht, in welchem sich die Röntgenröhre befindet. Dieselbe ist auf einem Tisch so aufgestellt, dafs sie die Röntgen-Strahlen nach unten sendet. Lotrecht unter die Röhre kommt der Umschlag mit der Platte zu liegen, auf denselben legt man die eine Hand. Nachdem die Einwirkung der Strahlen einige Minuten lang stattgefunden hat, verfährt man mit der Platte wie sonst beim Photographieren; das Bild wird entwickelt, fixiert, gewaschen und kopiert. Die so hergestellte Photographie zeigt die dunklen Schatten der Handknochen in dem weniger dunklen Schattenbild der Hand (Fig. 94). Die Heilkunst verwertet diese Erfindung, um Knochenverletzungen und, bei Verwundungen, um die Stelle zu erkennen, bis zu welcher ein Geschofs eingedrungen ist. — Man hat nicht nötig, eine Photographie herzustellen, wenn man ein **Kryptoskop** zu Hilfe nimmt. Dasselbe ist eine Röhre aus schwarzem Karton, an dem einen Ende offen oder geschlossen durch eine Linse, an dem anderen durch eine Kartonscheibe, die nach innen zu mit einem fluoreszierenden Stoff überstrichen ist. Wird die Rückseite des Gegenstandes von Röntgen-Strahlen getroffen, so betrachtet man die Vorderseite durch das Kryptoskop und nimmt auf der fluoreszierenden Scheibe ein Schattenbild derjenigen Teile des Gegenstandes wahr, welche die Strahlen nicht durchlassen.

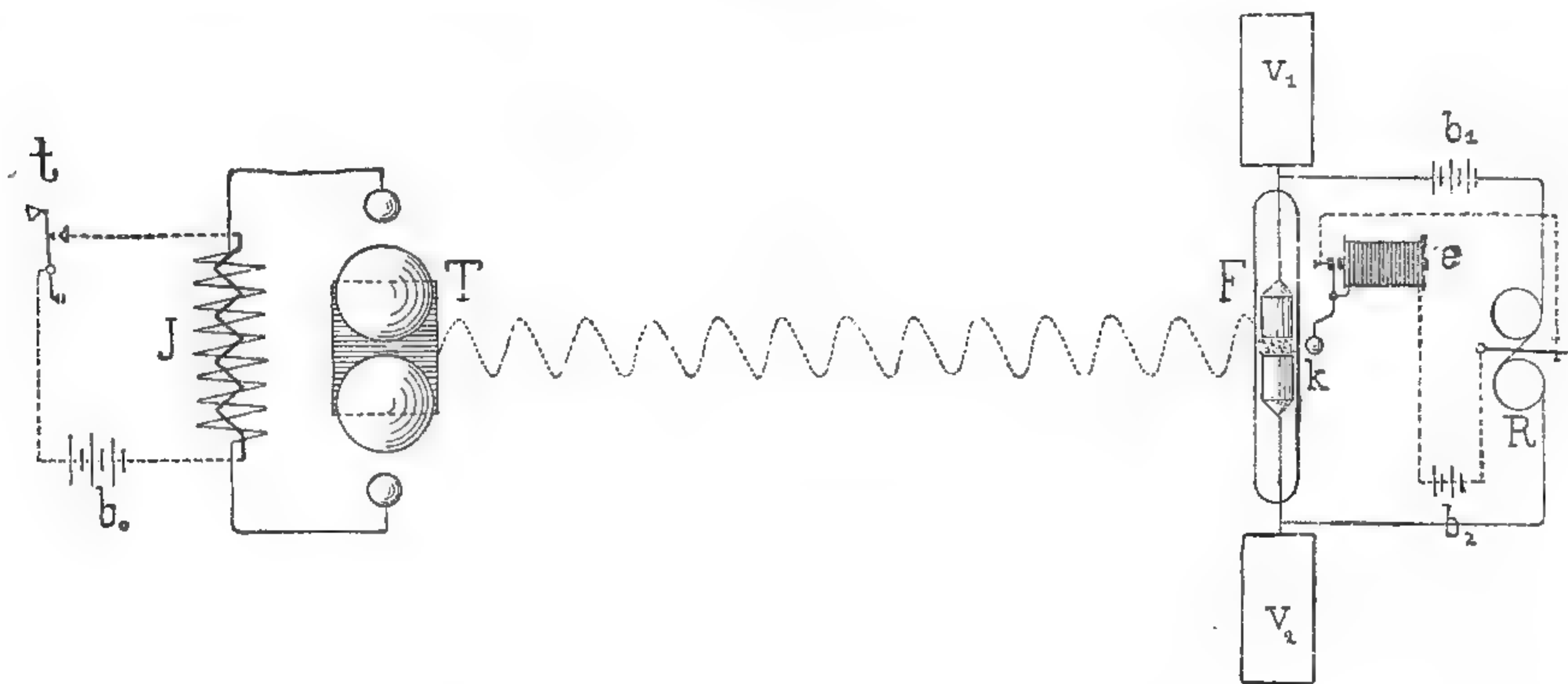
Fig. 94.



b. **Die Funkentelegraphie, oder die Telegraphie ohne Drahtleitung.** Der verstorbene Professor Heinrich Hertz in Bonn zeigte durch Versuche, dafs die Funkenentladungen des Induktors unsichtbare elektrische Wellen im Äther erregen, die sich mit der Geschwindigkeit des Lichtes nach allen Seiten im Raume ausbreiten und von den in unserem Auge Lichtempfindungen erregenden Lichtwellen des Äthers nur dadurch unterschieden sind, dafs die Längen der Wellen wesentlich gröfser sind als die Lichtwellenlängen und mehrere Millimeter bis mehrere Meter betragen können. (§ 162.)

Eine Anwendung der elektrischen Wellen ist die Funkentelegraphie, erfunden von Marconi zu Bologna. Fig. 95 zeigt ein Schema der ursprünglichen Anordnung. Erregt werden die Wellen durch die Funken eines Funkeninduktors J (Fig. 95), welche zwischen den zur Hälfte in Vaseline eingebetteten Metallkugeln T überspringen, wenn man die Leitung des aus der Batterie b_0 kommenden Hauptstromes durch eine Taste t (§ 41, 3) auf kurze Zeit schliefst. Die Wellen gelangen durch die Luft nach der anderen Station, welche viele Kilometer entfernt sein kann, und treffen dort den Wellenempfänger, Kohärer oder Fritter F. Der Kohärer ist eine luftleere Glasröhre, in welcher zwei mit Leitungsdrähten versehene Silberblöckchen einander gegenüberstehen; der enge Raum zwischen beiden Blöckchen ist durch Feilspäne von Silber und Nickel angefüllt. In gewöhnlichem Zustande leiten diese Späne den elektrischen Strom nicht. Trifft aber eine elektrische Welle den Kohärer, so haften die Metallspäne aneinander und an den Silberplatten und bilden für einen Strom einen guten Leiter. Die Silberplatten sind eingeschaltet in einen Stromkreis, welcher aufserdem noch aus einer Batterie b_1 und einem Relais R besteht. Das Relais ist eine leichtbewegliche Hilfsvorrichtung, in welcher ein Elektromagnet einen Anker und einen Hebel bewegt und dadurch einen zweiten Stromkreis schliefst. Dieser zweite Stromkreis besteht aus einer Batterie b_2,

Fig. 95.



einem (auf dem Bilde nicht gezeichneten) Morseschen Schreibapparat und einem elektromagnetischen Klopfer k, welcher den Kohärer immer wieder erschüttert und die Metallspäne in ihre nichtleitende Lage zurückführt. Jede ankommende Welle macht den Kohärer zu einem Leiter, schliefst dadurch den ersten Stromkreis und bewegt das Relais; dieses schliefst den zweiten Stromkreis, und der Schreibapparat tritt in Tätigkeit. Bei jedem hochliegenden Stationsgebäude ist ein Mastbaum aufgestellt, von dessen Spitze etwa 20 isolierte Drähte abwärts führen. Durch diese Drähte wird die Kraft der Wellen, sowohl bei der Absendung, als auch bei der Ankunft, vergröfsert. Die deutschen Prof. Slaby und Braun haben die Funkentelegraphie sehr vervollkommnet.

4. **Magnetelektrische Maschinen** dienen zur Hervorbringung von Magnet-Induktionsströmen (Fig. 96). Auf einem Gestell liegt ein magnetisches Magazin; unter den Polen N und S desselben ist an einer Achse ein Anker E angebracht, der sich mittels eines Riemens ohne Ende in schnelle drehende Bewegung setzen läfst. Der Anker besteht aus zwei Eisenstäben, die durch ein eisernes Querstück verbunden und mit vielen Drahtwindungen umwickelt sind. Die Drahtenden des Ankers sind an die an der Achse befindlichen Ringe gelötet; auf diese drücken zwei Federn a und b, und an diese werden für Heilzwecke die kupfernen Handgriffe A und B geschraubt. Bei der Drehung des Ankers nähert er sich den Polen des magnetischen Magazins und wird magnetisch; nachher entfernt er sich wieder von ihnen und wird unmagnetisch. Dabei entstehen in dem Draht magnetelektrische Ströme, die fortwährend ihre Richtung wechseln, oder Wechselströme, die bis zu den Ringen und Federn gelangen. Diese Ströme bringen nicht blofs die galvanische Erschütterung hervor, sondern sie zeigen auch alle Wirkungen elektrischer Ströme. Sollen diese Wechselströme eine andere Leitung immer in einer und derselben

Richtung durchfließen, also zu Gleichstrom werden, so müssen die an der Achse befindlichen Ringe samt den Federn einen Kommutator (§ 42, S. 50) bilden.

5. **Die dynamo-elektrischen Maschinen.** a) Die dynamo-elektrische Maschine oder Dynamomaschine, welche von Werner Siemens in Berlin 1866 erfunden und 1872 durch Hefner-Altenecks Trommelinduktor vervollkommnet worden ist und in die Reihe der deutschen Erfindungen gehört, beruht auf dem Zurückbleiben von Magnetismus in einem Elektromagnet und auf der gegenseitigen Verstärkung von Magnetismus und elektrischen Strömen infolge von Bewegung. Wenn man durch die Drahtwindungen eines Elektromagnets den Strom einer galvanischen Kette fließen läßt und dann den Strom unterbricht, so bleibt in dem Eisen eine schwache Spur von Magnetismus zurück, und dieser zurückbleibende oder remanente Magnetismus wird benutzt, um elektrische Ströme hervorzurufen. Die Siemenssche Dynamomaschine (Fig. 97) hat zwei Elektromagnete E^1 und E^2, welche aus dicken Eisenplatten bestehen und oben durch ein eisernes Bogenstück n^3 verbunden sind, desgleichen unten. Der Kupferdraht ist so um das Eisen gewickelt, daß die oberen Pole beider Elektromagnete samt dem oberen Bogenstück nordmagnetisch, die unteren Pole und das untere Bogenstück südmagnetisch werden. In dem von den Bogenstücken und Elektromagneten umschlossenen Raum ist der von Hefner-Alteneck erfundene Trommelinduktor (Fig. 98) angebracht. Derselbe enthält einen hohlen eisernen Zylinder ao, welcher nicht mit umgedreht wird; dieser wird von der Trommel uu, einem Zylinder aus Neusilberblech, umgeben, welcher durch eine Dampf-

Fig. 96.

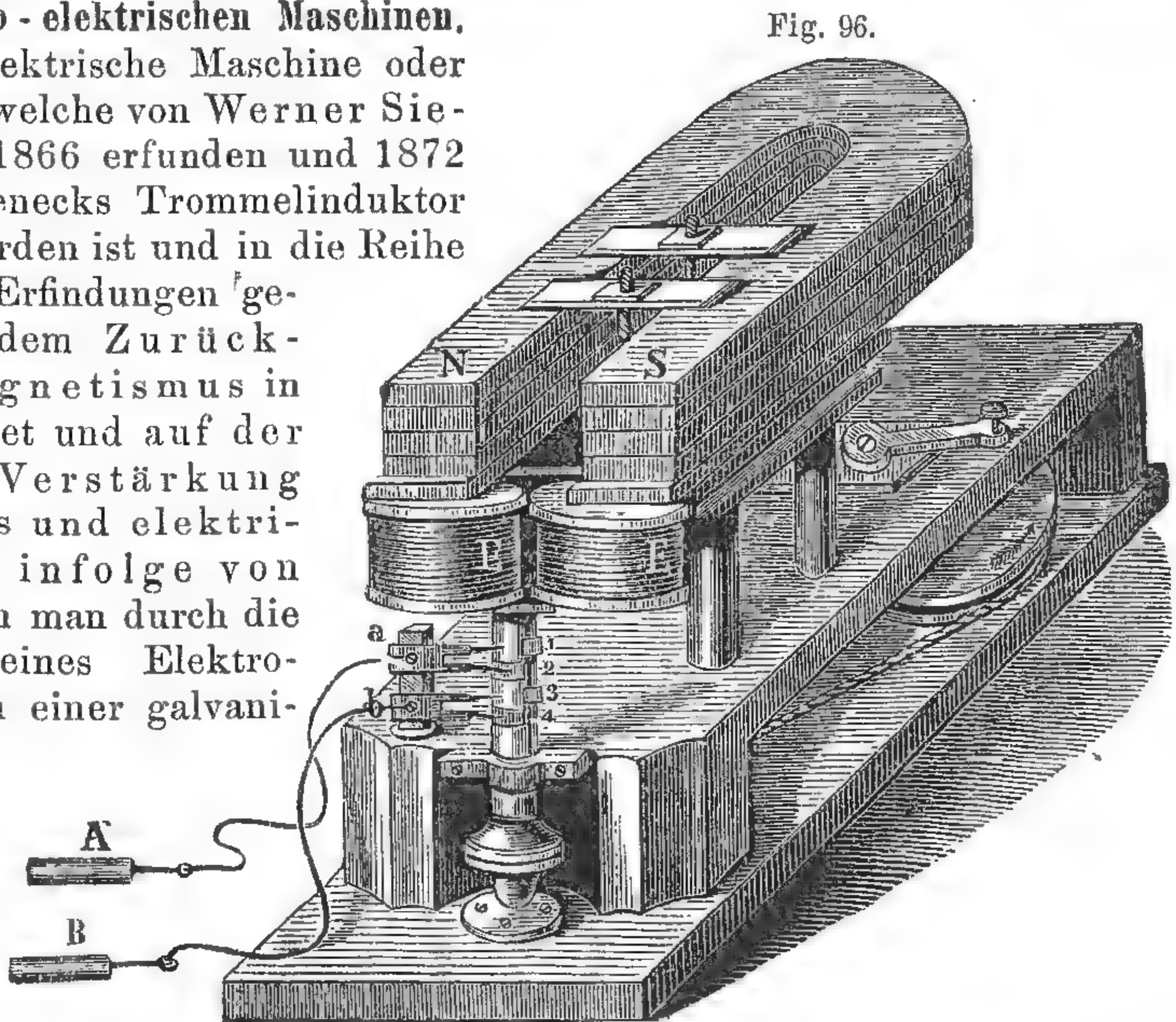
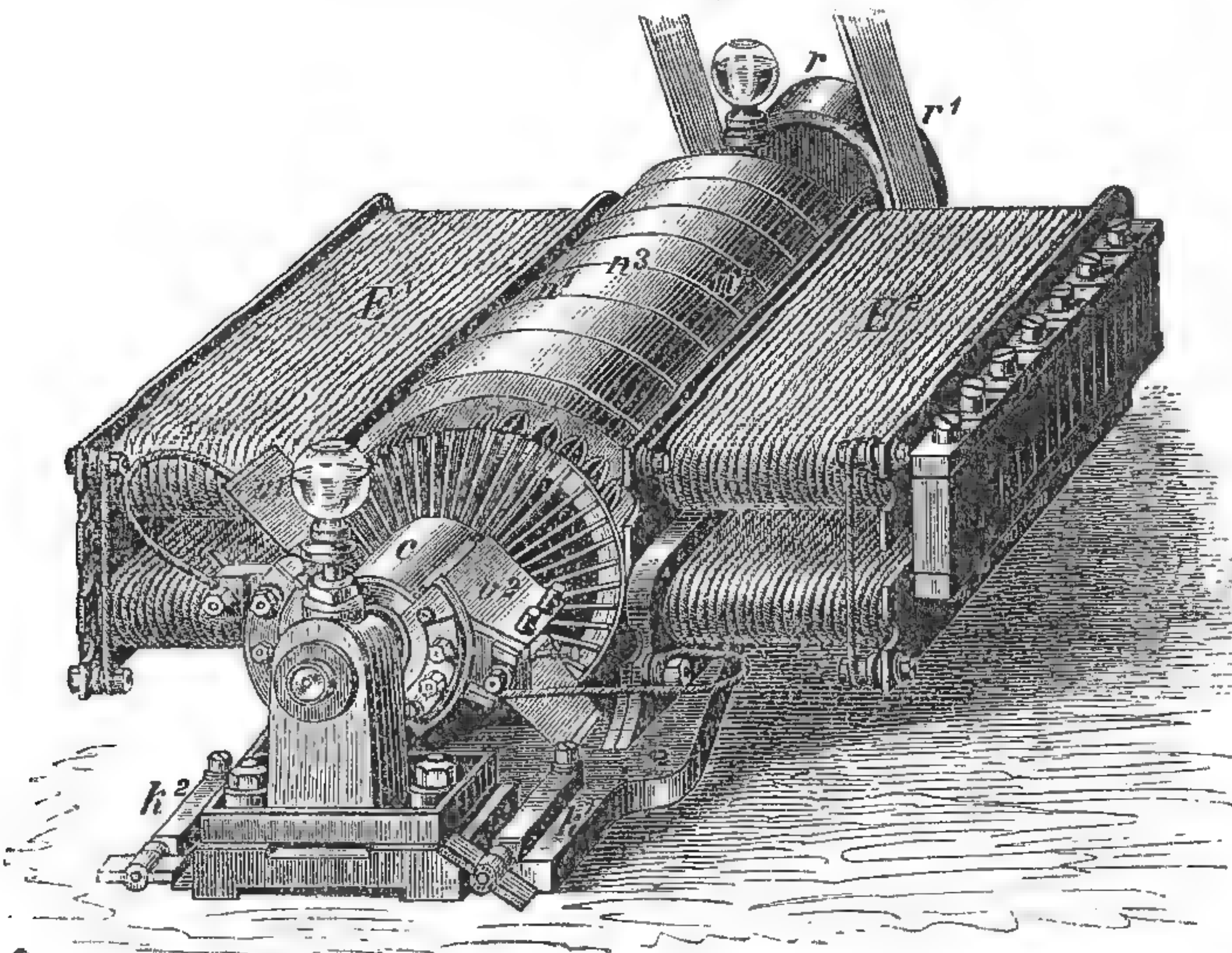
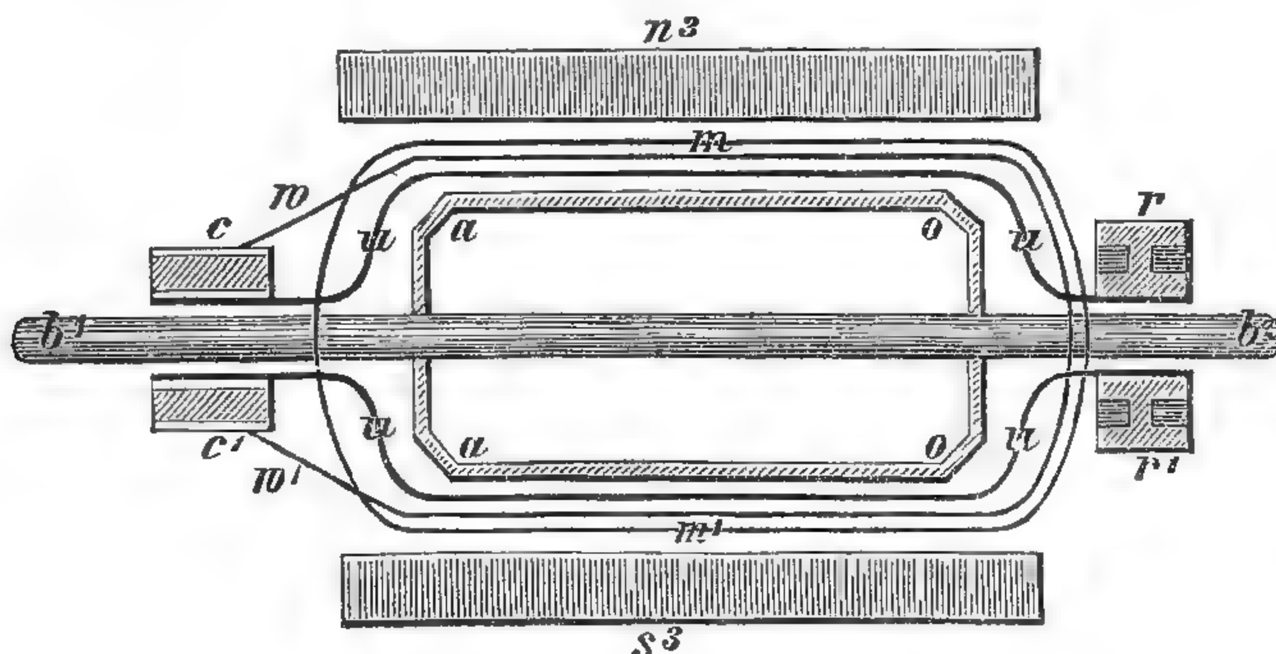


Fig. 97.



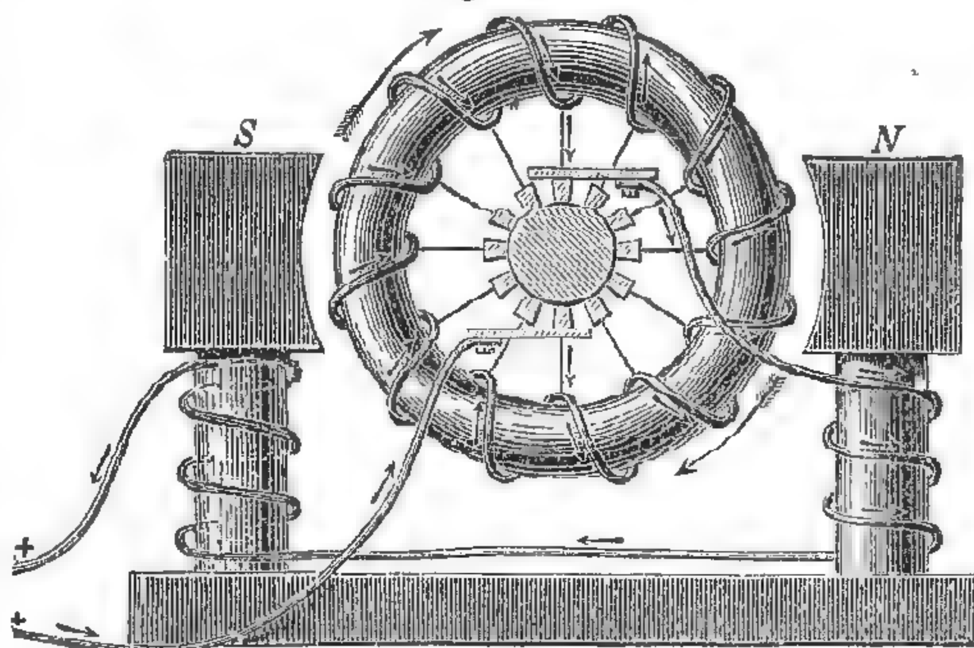
maschine schnell umgedreht wird. Die Trommel ist mit besponnenem Kupferdraht bewickelt; die Windungen wmm^1w^1 desselben laufen parallel mit des Achse des Zylinders und sind in 8 bis 30 einzelne Drahtrollen verteilt, welche alle mit dem Stromsammler cc^1 leitend verbunden sind. Der Stromsammler überliefert alle Ströme gleicher Richtung an eine Drahtbürste v^2 (Fig. 97), welche ihn berührt, und alle Ströme von entgegengesetzter Richtung an eine andere Drahtbürste. Bei der Umdrehung der Trommel nähern sich die Drahtwindungen den Polen der Elektromagnete und den Bogenstücken; es entstehen schwache magnetelektrische Ströme und durchfließen die äußere Leitung und die Draht-

Fig. 98.



windungen der Elektromagnete. Dadurch wird der Magnetismus derselben verstärkt und ruft stärkere Ströme hervor, welche wieder den Magnetismus der Elektromagnete verstärken. Durch diese gegenseitige Steigerung entstehen die stärksten Ströme, die wir hervorzubringen vermögen. Dieselben sind wegen der schnellen Umdrehung ununterbrochen oder kontinuierlich und behalten in der Leitung, welche sie durchfließen, dieselbe Richtung. Die Erzeugung schwacher elektrischer Ströme mit Hilfe des remanenten Magnetismus und die gegenseitige Verstärkung der Ströme und des Magnetismus unter Aufwand von mechanischer Arbeit heißt **das elektrodynamische Prinzip** von Siemens; alle elektrischen Maschinen, bei welchen dieses Prinzip verwendet ist, heißen Dynamomaschinen oder kurz Dynamos.

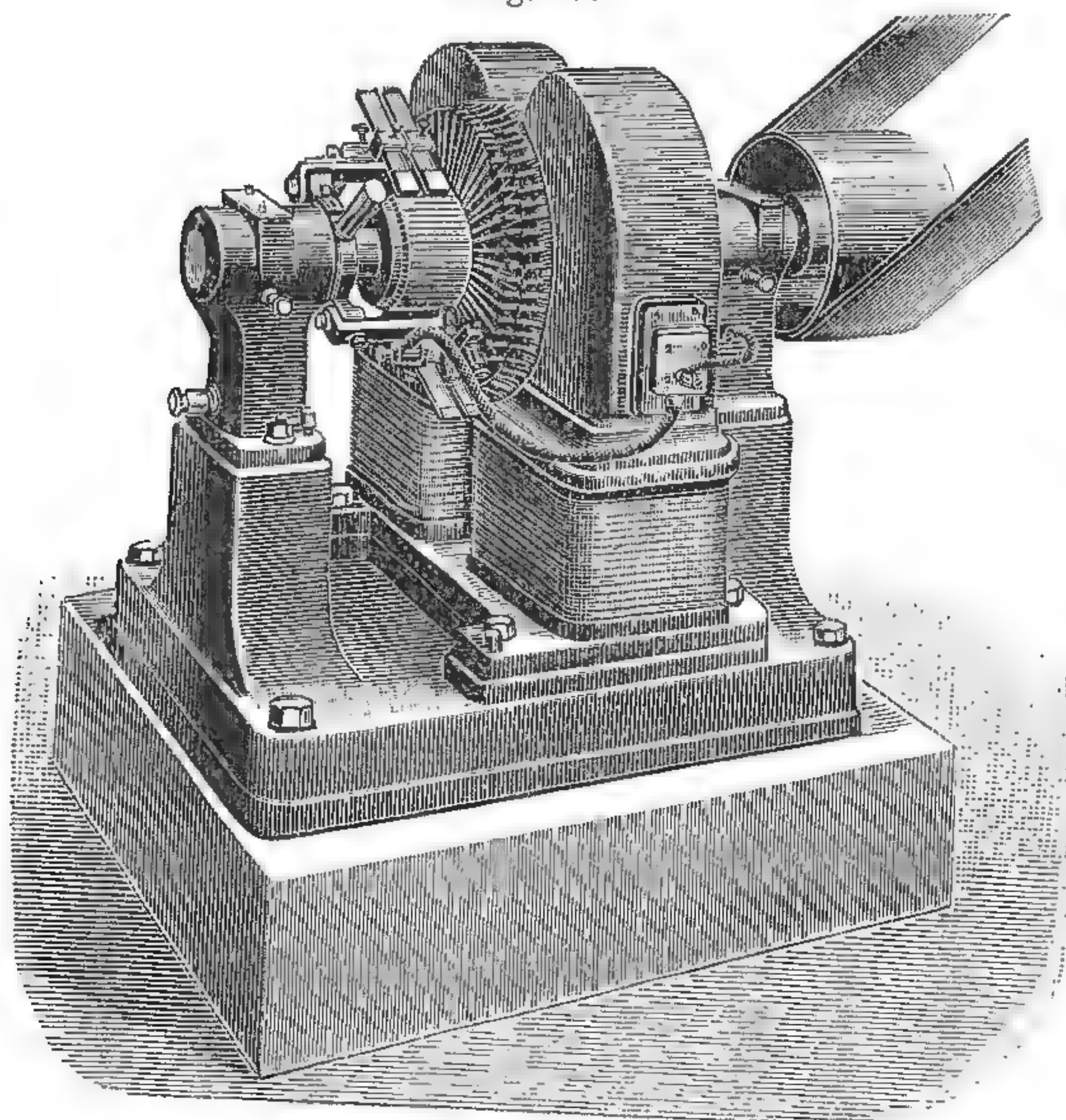
Fig. 99.



b) In Gebrauch sind auch Dynamomaschinen mit einem Ringinduktor, wie ihn 1864 Pacinotti und unabhängig von diesem 1871 Gramme zu Paris erfunden hat. Es ist ein eiserner Ring, in vielen Windungen ganz mit besponnenem Kupferdraht umwickelt. Dieselben sind in 39 bis 100 Drahtrollen verteilt, und das Ende jeder Drahtrolle ist an den Anfang der folgenden gelötet, so daß sie eine zusammenhängende spiralförmige Leitung ausmachen, welche um den Eisenring herumführt (Fig. 99). Von jeder Lötstelle führt ein Metallstreifen nach einem Kupferblättchen, das isoliert auf der Umdrehungsachse des Ringes befestigt ist. Die Zahl der Kupferstäbchen ist gleich der Zahl der Drahtrollen; zusammen bilden sie den Stromsammler. Von diesem nehmen zwei Drahtbürsten, welche darauf drücken, die Ströme ab, ehe die Draht-

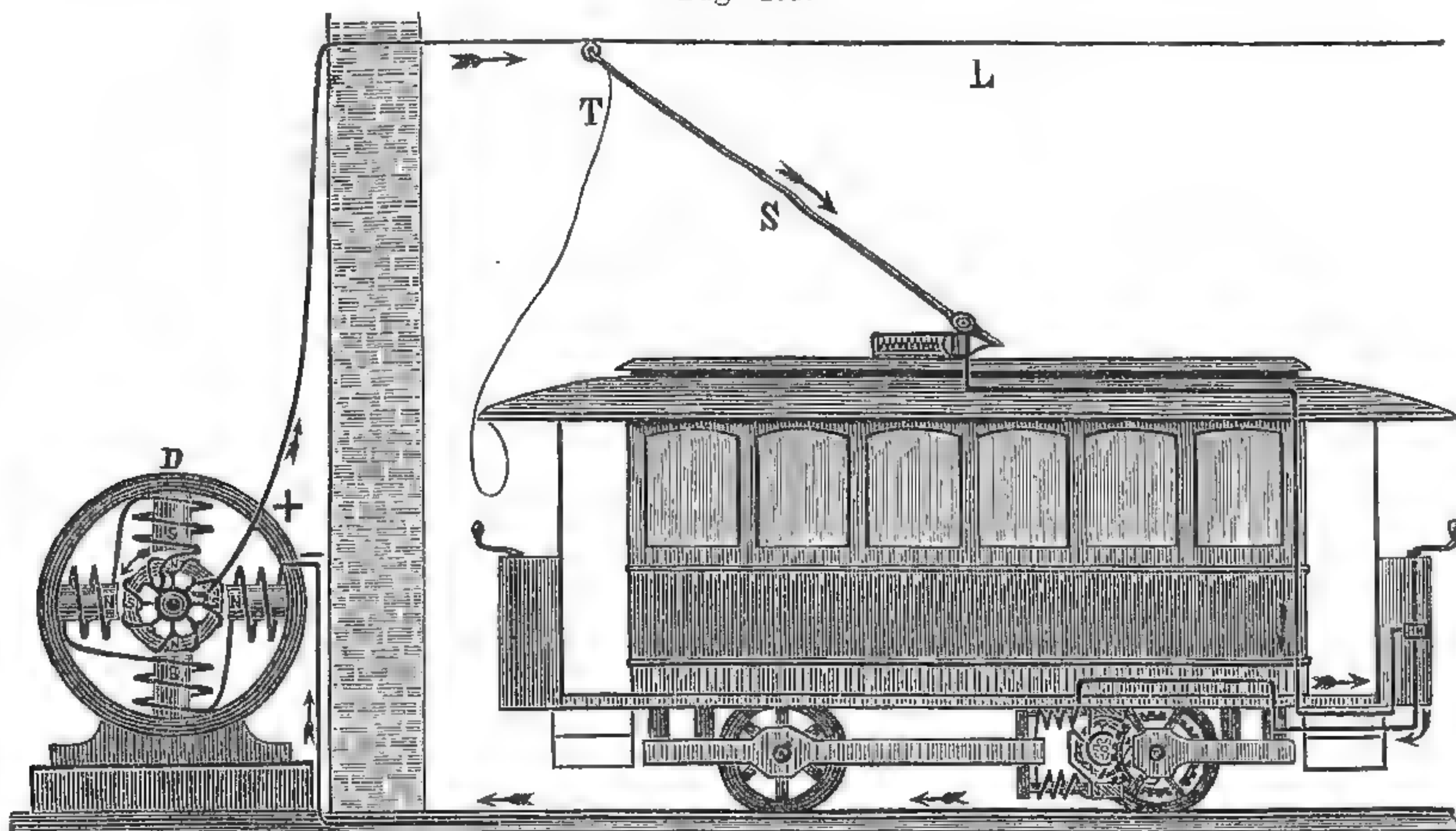
rollen in das andere magnetische Feld eintreten, und zwar die obere Bürste die positiven, die untere die negativen Ströme. Wird der Ring zwischen den Polen *N* und *S* eines Elektromagnets in schnelle Umdrehung gesetzt, so fliefst der positive Strom von der oberen Bürste aus zuerst durch die Drahtwindungen des Elektromagnets, dann durch die äufsere Leitung und einen Draht zur unteren Bürste. Dadurch wird der Magnetismus des Elektromagnets bald stärker und erregt stärkere Ströme. Fig. 100 stellt eine Dynamomaschine nach Grammeschem System dar.

Fig. 100.



c) Angewandt werden die Dynamomaschinen zur Erzeugung elektrischen Lichtes, ferner zum Magnetisieren der Elektromagnete in den magnet-elektrischen Wechselstrommaschinen (siehe 6. Seite 63), ferner zum Laden der Akkumulatoren, zur galvanischen Vergoldung und Versilberung, zum Gewinnen des Aluminiums, Kohlenstoffcalciums und Kieselkohlenstoffs (§ 33, § 34). Sehr wichtig ist endlich die Anwendung der Dynamomaschinen zur elektrischen Übertragung von Arbeit, wie sie z. B. beim Betrieb der elektrischen Eisenbahnen stattfindet. Soll der elektrische Strom zur Übertragung von Arbeit benutzt werden, so mufs man ihn in einen **Elektromotor** leiten, den der Strom in Bewegung setzt. Als Elektromotor könnte jede

Fig. 101.

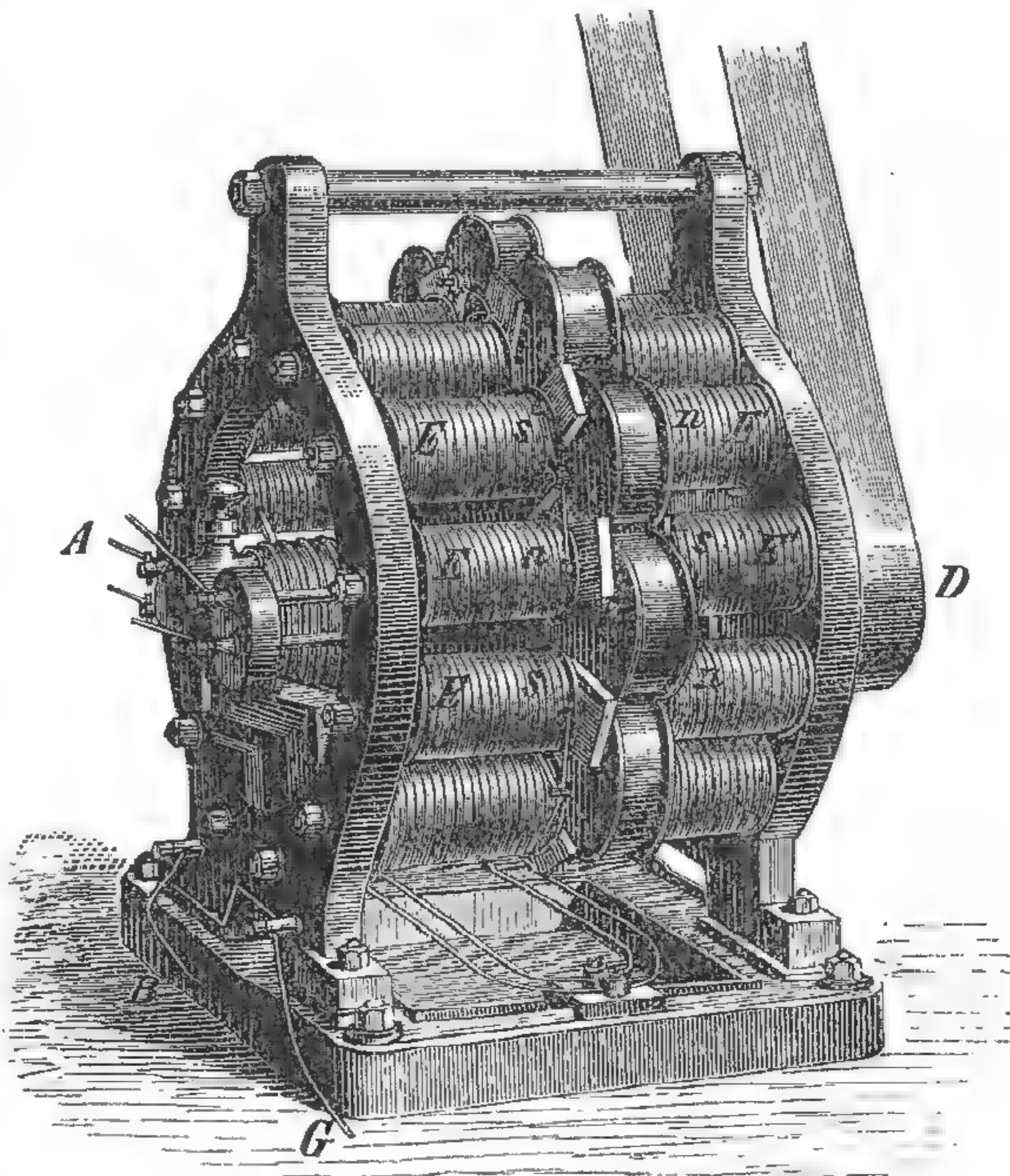


Dynamomaschine dienen, durch welche man mit Hilfe der Aufsenleitung einen elektrischen Strom in derselben Richtung strömen läfst, in welcher der Strom durch die Maschine fliefst, wenn sie als Dynamomaschine dient und den Strom selbst erzeugt.

Betrachten wir Fig. 99 als Bild eines Elektromotors, so muſs der Strom durch den unteren Draht in der Richtung der Pfeile eingeführt werden; er tritt auf die untere Bürste über, flieſst nach unten auf die Drahtwindungen des Grammeschen Ringes ab und teilt sich hier, indem er die Drahtwindungen des Ringes nach beiden Seiten hin durchflieſst. Auf der oberen Bürste flieſst der geteilte Strom wieder zusammen und umströmt von hier aus die Elektromagnete (Feldmagnete), indem er den remanenten Magnetismus derselben verstärkt. Denkt man sich einen Augenblick lang den Eisenkern des Grammeschen Ringes, da wo sich der Strom teilt und wo er wieder zusammenflieſst, also unten und oben, vertikal durchschnitten und blickt unten erst auf die eine, dann auf die andere Schnittfläche, so flieſst in beiden Fällen der Strom in der Richtung des Uhrzeigers. Daher läſst sich jede Hälfte des unten und oben zerschnitten gedachten Eisenringes als ein halbkreisförmiger Elektromagnet betrachten, der unten seinen Südpol, oben seinen Nordpol hat (s. § 39, 3 S. 45). Es ist so, als lägen die beiden halbkreisförmigen Magnete unten mit den Südpolen, oben mit den Nordpolen aneinander; der Grammesche Ring wird also unten südmagnetisch, oben nordmagnetisch. Die Folge hiervon ist, daſs der Nordpol der Feldmagnete die untere Seite des Ringes anzieht, die obere abstöſst; in gleichem Sinne wirkt der Südpol der Feldmagnete. Der Ring gerät also in die entgegengesetzte Bewegung, die er hat, wenn die Maschine als Dynamomaschine dient.

Bei der elektrischen Straſsenbahn dreht eine feststehende Dampfmaschine die neben ihr aufgestellte Dynamomaschine D (Fig. 101); der positive Strom derselben wird auf einen isolierten Draht L geleitet, welcher mehrere Meter hoch über den Schienen ausgespannt ist. Durch eine eiserne Stange S, welche oben mit einer Metallrolle T oder mit einem Bügel versehen ist, und die durch Federkraft gegen den Leitungsdraht gedrückt wird, gelangt der Strom durch Drähte, die im Wagen verborgen liegen (im Bilde angedeutet), zum Elektromotor, der neben der Wagenachse befestigt ist und durch Zahnradübersetzungen die Wagenachse und die Räder des Wagens in Bewegung setzt. Durch die Räder flieſst Strom zu den Schienen und von diesen zur Dynamomaschine zurück.

Fig. 102.



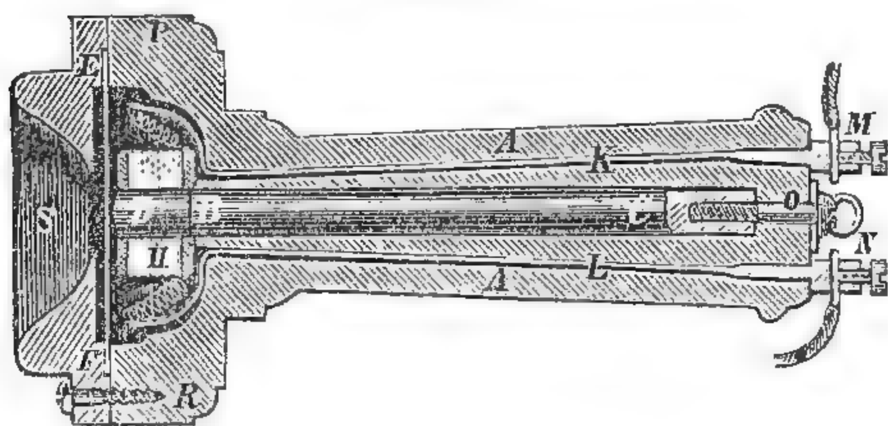
6. **Die magnetelektrische Wechselstrommaschine** von Siemens (Fig. 102) trägt an beiden guſseisernen, kreisförmigen Ständern je 12 Elektromagnete E und E', die zu je zweien einander gegenüberstehen, und welche so bewickelt sind, daſs sie einander die ungleichnamigen Pole zukehren, und daſs immer auf einen Südpol s ein Nordpol n folgt. Die Elektromagnete werden durch den Gleichstrom einer kleinen dynamoelektrischen Maschine magnetisch gemacht. In dem Zwischenraum zwischen den einander gegenüberstehenden Elektromagneten ist eine lotrechte Scheibe mit 12 Rollen aus Kupferdraht angebracht, welche durch eine Dampfmaschine in schnelle Umdrehung gesetzt wird. Indem die Drahtrollen abwechselnd ungleichnamigen Polen genähert werden, entstehen in ihnen starke elektrische Ströme mit wechselnder Richtung, werden zu dem an der Achse befindlichen

Stromsammler geleitet und gehen von diesem zu den darauf schleifenden Metallbändern und (bei *A*) in die Drahtleitungen über, die den Strom zur Verbrauchsstelle führen.

§ 47. Telephon und Mikrophon.

1. **Das Telephon oder der Fernsprecher.** Magnetelektrische Ströme entstehen in einer Leitung, wenn in ihrer Nähe Magnetismus stärker oder schwächer wird. Nähert man einem Pol eines magnetischen Stabes eine eiserne Platte, so wird diese magnetisch und wirkt verstärkend auf den Magnetismus des Stabes; entfernt man die Platte, so wird der Magnetismus des Stabes schwächer. Ist der Pol des Stabes von einer Drahtrolle umgeben, so entstehen in dem Draht schwache magnetelektrische Ströme, so oft die Eisenplatte dem Stabe genähert oder von ihm entfernt wird. Diese Art, elektrische Ströme zu erregen, hat Professor Bell in Boston bei dem von ihm 1877 hergestellten **Telephon** oder Fernsprecher angewandt*). Das Telephon in seiner ursprünglichen Gestalt (Fig. 103) enthält in einer Holzröhre *A*, die an dem einen Ende etwas stärker ist, einen kurzen Eisenstab *D* und einen Stahlmagnet *BC*. Über den Eisenstab, in welchem durch Verteilung Magnetismus erregt wird, ist eine Rolle mit Kupferdraht *II* geschoben, dessen Enden zu zwei Klemmschrauben *M* und *N* führen. Nahe dem Eisenstab *D* ist eine sehr dünne, elastische Eisenplatte, das Schallblech *EF*, angebracht, und vor diesem hat das weitere Ende der Holzfassung eine trichterförmige Öffnung, die Schallöffnung *S*. Wenn nun zwei Personen aus weiter Entfernung miteinander sprechen wollen, so hat jede ein Telephon, und die Windungen beider Instrumente sind durch zwei Leitungsdrähte miteinander verbunden, welche am zweckmäfsigsten aus Siliciumbronze gefertigt werden. Die hörende Person hält die Schallöffnung ihres Telephons ans Ohr und gebraucht es als Hörtelephon; die redende Person spricht in die Schallöffnung ihres Telephons hinein und benutzt es als Sprechtelephon. Die durch das Sprechen hervorgebrachten Schwingungen der Luft setzen das Schallblech in entsprechende Schwingungen. Indem es sich dabei dem Eisenstabe nähert oder sich von ihm entfernt, entstehen in den Drahtwindungen abwechselnd elektrische Ströme verschiedener Richtung, welche nach dem anderen Telephon gelangen und in demselben die Anziehungskraft des Eisenstabes vermehren oder vermindern. Dadurch wird das Schallblech und durch dieses die Luft in Schwingungen gesetzt, welche den ursprünglichen gleichen, so dafs die gesprochenen Worte zwar schwächer, aber ohne Änderung der Tonhöhe zu vernehmen sind. Für grofse Entfernungen genügen zwei Telephone nicht zur Verständigung, weil wegen des Leitungswiderstandes die Ströme so geschwächt werden, dafs sie keinen genügenden Magnetismus im Hörtelephon erzeugen, der das Schallplättchen bewegen kann.

Fig. 103.



2. Durch das **Mikrophon** (Fig. 104), in Verbindung mit einem Telephon und einer galvanischen Kette, werden auch sehr schwache Töne oder Geräusche auf grofse Entfernungen hin hörbar gemacht. Das Instrument besteht aus Kohlenstäbchen, die einander leise berühren und auf einem Resonanzbrett angebracht sind. Der Strom eines galvanischen Elementes gelangt durch einen Draht

*) Das erste, freilich sehr unvollkommene, Telephon hat 1860 Philipp Reis aus Gelnhausen (gest. 1874) gebaut.

zu der einen Kohle, tritt zu der anderen über, geht dann zu den Drahtwindungen eines Telephons, durchfliefst dieselben und kommt zu dem anderen Pol der Kette. Wird an dem Resonanzbrett ein Schall erregt durch das Hinüberlaufen einer Fliege oder durch Sprechen, so vernimmt derjenige, welcher das Telephon ans Ohr hält, den Schall deutlich. Der bei dem Mikrophon entstandene Schall setzt das Resonanzbrett und die Kohlen in Schwingungen. Bei jeder Schwingung tritt eine Änderung in der Stärke des Druckes zwischen den sich berührenden Kohlen und daher eine Änderung des Widerstandes und folglich der Stärke des galvanischen Stromes ein. Diese Stromschwankungen bewirken in dem Eisenstab des Telephons Änderungen des Magnetismus, und infolge derselben gerät das Schallblech des Telephons in Schwingungen, welche den ursprünglichen entsprechen. Weil die durch ein Mikrophon hervorgebrachten Stromschwankungen kräftiger sind als die durch ein Sprechtelephon erregten

Fig. 104.

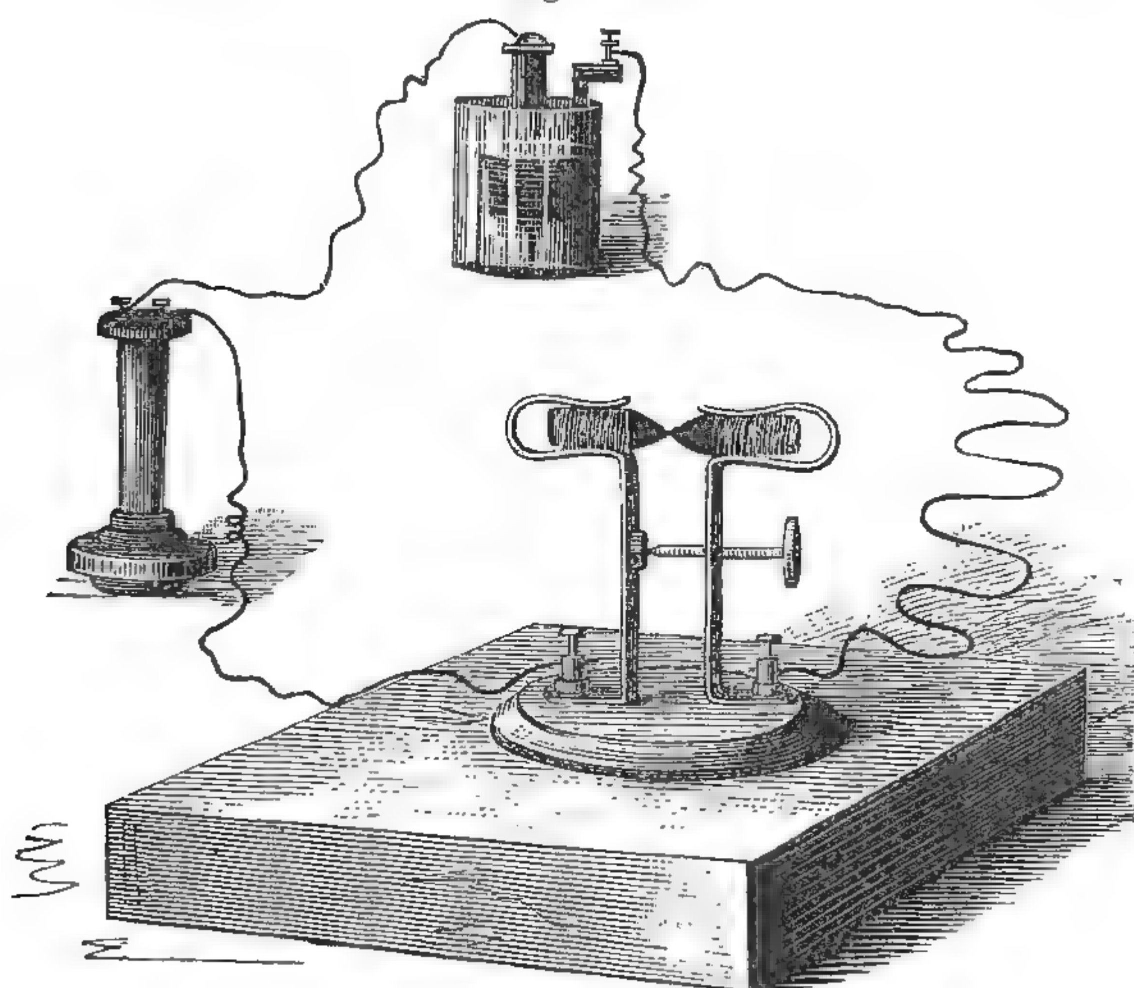
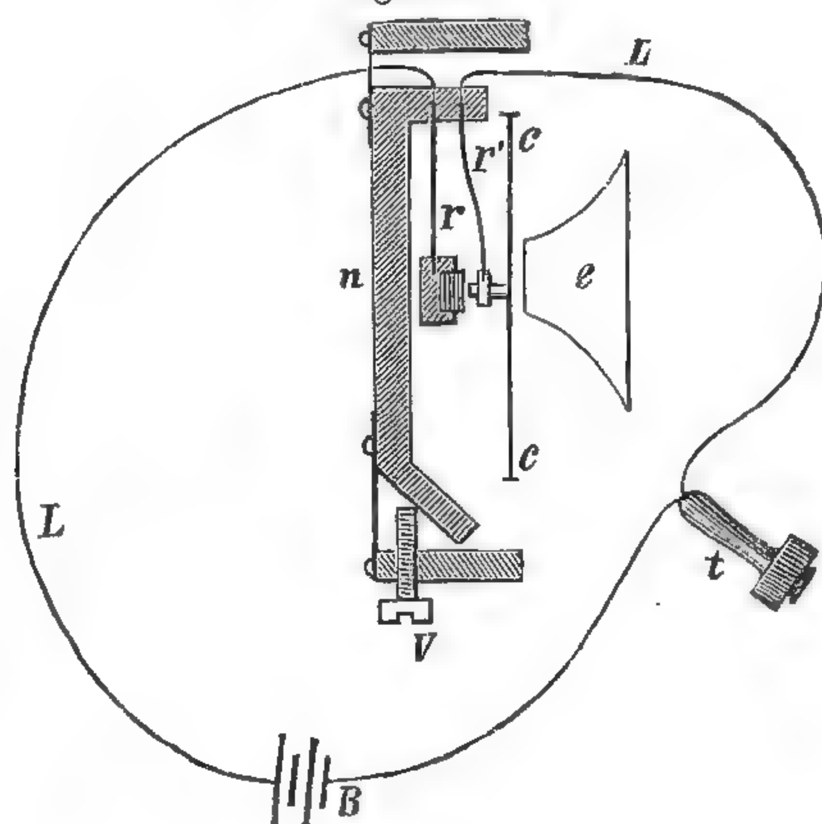


Fig. 105.



Ströme, verstärkt das Mikrophon die Schwingungen des Schallbleches des Hörtelephons und wird daher beim Fernsprechen auf gröfsere Entfernungen an Stelle des Sprechtelephons gebraucht.

Ein solches **Kohlentelephon** hat eine kegelförmige Schallöffnung *e* zum Hineinsprechen (Fig. 105) und dahinter ein überaus dünnes Eisenblech *cc*; gegen dasselbe lehnt sich, durch eine Gummiplatte von ihm getrennt, eine metallene Feder r^1, die oben isoliert befestigt ist und unten ein Kohlenstückchen trägt. Gegen dieses wird durch eine zweite Feder *r* ein zweites Kohlenstück gedrückt. Ein Braunsteinelement *B* sendet seinen Strom durch einen Leitungsdraht *L* zur Feder *r*, über beide Kohlenstückchen und die andere Feder r^1 durch einen Draht zu dem auf der anderen Station angebrachten Hörtelephon *t* und von diesem zurück zum Element *B*. Wird in das Kohlentelephon hineingesprochen, so entstehen den Worten gemäfs Schwingungen des Eisenblechs, Schwankungen im Druck zwischen den Kohlen, in der Stromstärke und im Magnetismus innerhalb des Hörtelephons und die beabsichtigten Schwingungen seines Schallblechs. Bei den im Reichsdienst stehenden Mikrophonen wird durch die Schwingungen von Kohlenstäbchen, die sich hinter der Sprechplatte befinden, der Widerstand eines Lokalstromes geändert, welcher durch eine Hauptrolle geführt ist. Die Stromstärkeschwankungen dieser Hauptrolle induzieren in einer parallelen Neben-

rolle höher gespannte Induktionsströme, welche die Widerstände der Leitung leichter überwinden. Diese Sekundärströme werden in das entfernte Telephon geleitet. Noch empfindlicher als die Kohlenstäbchenmikrophone sind die Kohlenkörnermikrophone, welche z. B. auf der Sprechlinie Berlin-Paris gebraucht werden.

Fig. 106.

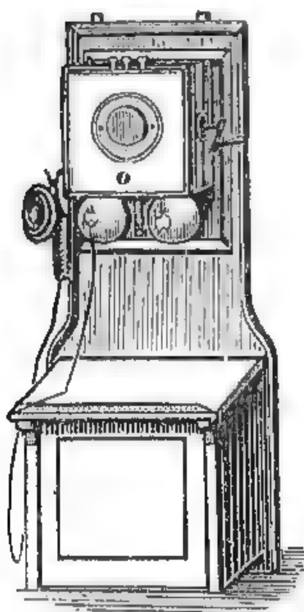


Fig. 106 stellt eine Fernsprechstelle dar. Unten im Kasten sind die galvanischen Elemente, deren Strom durch die Hauptrolle des Mikrophons geht. Oben ist in der Mitte die Sprechplatte. Hinter dieser sind die Kohlenstäbchen befestigt, die durch die Erschütterungen, die sie beim Sprechen auf die Platte erleiden, den Widerstand des durch die Kohlenstäbchen fliefsenden Lokalstromes in der Hauptrolle und dadurch dessen Stromstärke ändern. Links hängt das Hörtelephon an einem Haken, welcher das Ende eines Hebels bildet, der, solange er belastet ist, den Lokalstrom unterbricht, ihn aber schliefst, wenn das Telephon abgehängt wird. Der Anruf der entfernten Sprechstelle erfolgt durch die Kurbel auf der rechten Seite. Wird diese gedreht, so entsendet eine oben im Kasten untergebrachte kleine elektromagnetische Maschine Ströme nach der anzurufenden Stelle und läfst dort die unter dem Kasten angebrachten elektrischen Klingeln ertönen.

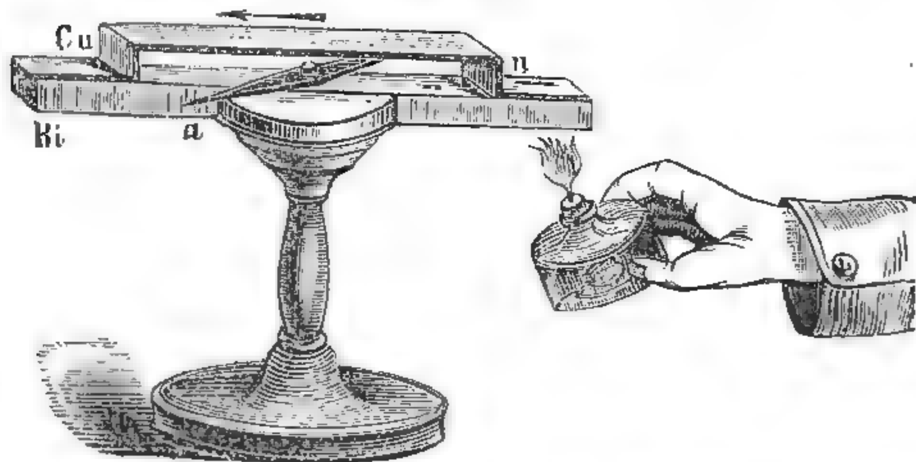
§ 48. Das Nordlicht.

Das Nordlicht und ebenso das Südlicht ist eine Lichterscheinung, welche in den Polargegenden häufig vorkommt. Es bildet sich am Abend über einer dunklen Stelle des Himmels ein glänzender Lichtbogen, dessen Enden die Erde zu berühren scheinen; aus demselben schiefsen Strahlen hervor, steigen am Himmel immer höher und färben sich violett, grün oder rot; am Morgen wird das Licht allmählich schwächer und matter. Die Erscheinung eines Nordlichts versetzt die Magnetnadel in Schwankungen, und genaue Beobachtungen lehren, dafs seine Strahlen nach dem magnetischen Pol im Norden der Erde gerichtet sind; es steht daher in Zusammenhang mit dem Erdmagnetismus. Zugleich hat es grofse Ähnlichkeit mit den elektrischen Lichterscheinungen im luftverdünnten Raume (§ 18, 5 und 46, 2), und es könnte nicht so weit sichtbar sein, wenn die Erscheinung nicht in den höheren Schichten der Atmosphäre stattfände, wo die Luft sehr dünn ist.

§ 49. Thermo-elektrische Ströme.

1. Ein Wismutstäbchen ist mit einen zweimal rechtwinklig gebogenen Kupferstreifen an den Enden zusammengelötet, und zwischen beiden Metallen befindet sich eine Deklinationsnadel. Stellt man den Apparat in die Richtung des magnetischen Meridians und erwärmt eine Lötstelle (Fig. 107), so wird die Magnetnadel abgelenkt; also mufs ein elektrischer Strom in dem Metallviereck entstanden sein. Die Nadel wird nach der gleichen Richtung abgelenkt, wenn man die andere Lötstelle stark abkühlt.

Fig. 107.



Gesetz: Werden die verschiedenen Berührungsstellen zweier Metalle in einer geschlossenen Leitung ungleich erwärmt, so entsteht ein elektrischer Strom, welcher ein thermo-elektrischer Strom oder Thermostrom genannt wird.

2. Ordnet man 50 Wismut- und Antimonstäbe so, dafs immer Antimon auf Wismut folgt, und lötet man sie an ihren Enden abwechselnd so zusammen, dafs

sie sich nur an den Lötstellen berühren, so erhält man eine **Thermosäule** (Fig. 108). Gewöhnlich gibt man der Säule die Gestalt eines Würfels und lötet an die freien Enden des ersten Wismut- und des letzten Antimonstabes übersponnene Leitungsdrähte. Weil die geringste Erwärmung oder Abkühlung der Lötstellen eine Ablenkung der Magnetnadel in einem Multiplikator (mit wenig Windungen aus nicht zu dünnem Draht) zur Folge hat, wird die Thermosäule in Verbindung

Fig. 108.

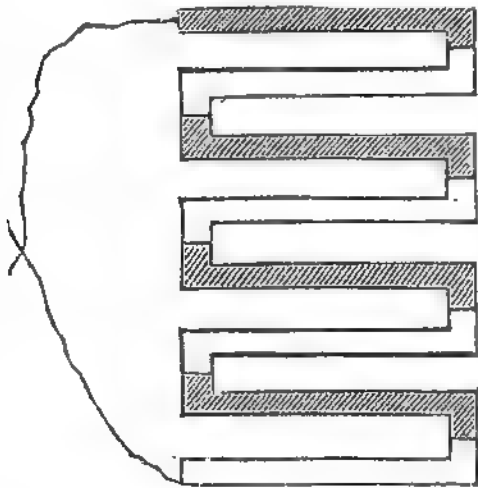
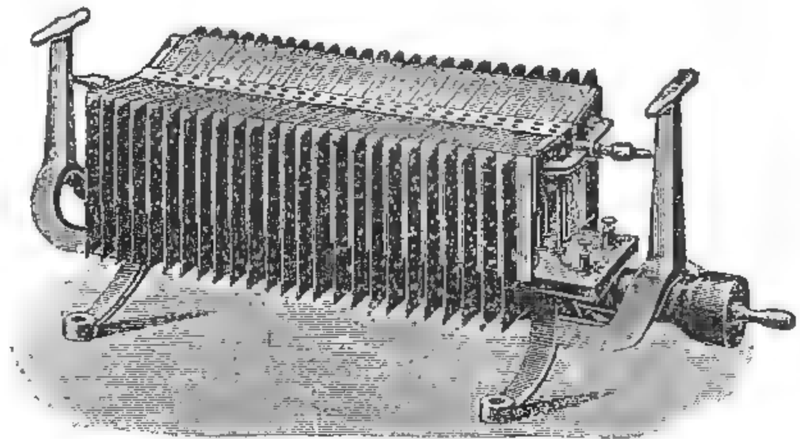


Fig. 109.



mit einem Multiplikator angewandt als ein überaus empfindliches Werkzeug zum Messen geringer Wärmeunterschiede (§ 190, 4). Im Jahre 1891 ist es dem Ingenieur Gülcher gelungen, aus Nickelröhren, die als Gasbrenner dienen, und Platten, die aus einer Antimonlegierung angefertigt sind, Thermosäulen zu bilden, welche dauernd einen kräftigen Strom zu erzeugen vermögen (Fig. 109).

§ 50. Tierische oder physiologische Elektrizität.

Einige Fische, nämlich der Zitteraal, der Zitterrochen und der Zitterwels, haben die Kraft, elektrische Schläge zu erteilen. Der **Zitteraal**, von schöner, olivengrüner Farbe, lebt in den Gewässern Südamerikas, wird 2 m lang und vermag Menschen und große vierfüßige Tiere zu lähmen oder zu betäuben und zu Boden zu werfen. Der **Zitterwels** hat einen breitgedrückten Kopf und graue Farbe und findet sich in den Flüssen Afrikas. Am genauesten kennt man den **Zitterrochen**, der im Mittelländischen Meere häufig angetroffen wird und eine Länge von 1,25 m erreicht; er ist rotgelb mit blauen Flecken; sein elektrisches Organ liegt in der Nähe des Kopfes und besteht aus einer großen Menge von kleinen Säulen, deren jede durch übereinandergeschichtete Blättchen gebildet wird, und die einer Voltaschen Säule ähnlich sind; es ist gelungen, durch Drähte aus ihm Funken zu ziehen. Durch Multiplikatoren mit 6000 Windungen aus recht feinem Draht ist von E. Du Bois-Reymond nachgewiesen worden, daß sehr schwache Elektrizität beständig Nerven und Muskeln aller lebendigen Wesen, auch die der Menschen, durchströmt.

Zweite Abteilung.

Die allgemeinen Eigenschaften der Körper und die Wirkungen der Schwerkraft.

I. Allgemeine Eigenschaften der Körper.

Allen Körpern, ob sie fest, flüssig oder luftförmig sind, kommen, trotz aller Verschiedenheit, doch gewisse Eigenschaften zu, die sie gemeinsam haben, und

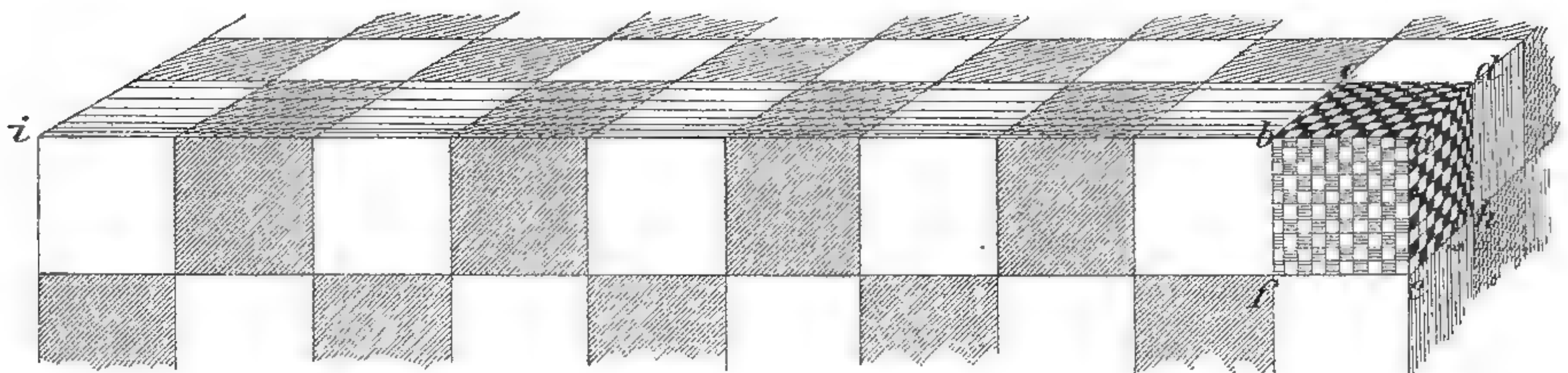
die man daher die *allgemeinen Eigenschaften der Körper* nennt. Allen Körpern kommen folgende Eigenschaften zu: 1. *Ausdehnung oder Raumerfüllung*, 2. *Undurchdringlichkeit*, 3. *Teilbarkeit*, 4. *Porosität*, 5. *Ausdehnungsvermögen und Zusammendrückbarkeit*, 6. *Schwere*.

§ 51. Die Raumerfüllung und die Undurchdringlichkeit.

1. **Die Raumerfüllung oder Ausdehnung.** a) Jeder Körper füllt einen Teil des Weltraumes aus, er besitzt die Eigenschaft der *Raumerfüllung*. Feste und flüssige Körper können wir sehen und greifen, also bei ihnen die Eigenschaft der Raumerfüllung ohne weiteres feststellen. Dafs die Luft ein Körper ist und Raum einnimmt, bemerken wir, wenn sie uns bewegt als Wind oder Sturm entgegenkommt, oder wenn wir, uns selbst rasch bewegend, an ihr ein Hindernis der Fortbewegung finden, z. B. auf dem Fahrrade. Der von einem Körper erfüllte Raum heifst sein **Volumen.** Jeder Körper besitzt *drei Ausdehnungen oder Dimensionen*: *Höhe*, *Breite* und *Länge* (oder Tiefe). Zur Bestimmung der Längen dieser drei Ausdehnungen bedient man sich eines *Längenmafses*.

b) **Die Mafseinheiten** für Längen, Flächen und Körper. Als *Längenmafseinheit* dient das Meter. 1 Meter = 100 Centimeter = 1000 Millimeter (1 m = 100 cm = 1000 mm). Als *Mafseinheit* für die *Flächenmessung* dient das *Quadratmeter* (Quadrat von 1 Meter Seitenlänge). 1 Quadratmeter = 10 000 Quadratcentimeter = 1 000 000 Quadratmillimeter (1 qm = 10 000 qcm =

Fig. 110.



1 000 000 qmm). Die Einheit für die *Raummessung* ist ein *Kubikmeter* (Würfel von 1 Meter Kantenlänge und 1 Quadratmeter Seitenfläche), 1 Kubikmeter = 1 000 000 Kubikcentimeter = 1000 000 000 Kubikmillimeter (1 cbm = 1 000 000 ccm = 1 000 000 000 cmm). Der Inhalt eines Würfels von 10 Centimeter Kantenlänge (Fig. 110) heifst ein *Liter* und ist das gebräuchliche Hohlmafs für Flüssigkeiten und Gase.

2. **Die Undurchdringlichkeit.** Wollen wir ein Buch an die Stelle legen, wo schon ein anderes liegt, so müssen wir das erste erst entfernen, bevor das zweite hingelegt werden kann. Schwimmen wir im Flusse, so verdrängen wir Wasser mit unserem Körper, ebenso, wie wir bei jeder Bewegung unserer Glieder erst die Luft verdrängen. Drückt man ein umgestülptes Becherglas in ein Becken mit Wasser, so behauptet die eingesperrte Luft ihren Raum, und es kann in das umgestülpte Glas fast kein Wasser eintreten, hingegen steigt das Wasser im Becken. Wasser fliefst durch einen Trichter nicht in eine Flasche, wenn der Trichter so dicht auf dem Hals der Flasche aufsitzt, dafs die Luft nicht entweichen kann. Die Eigenschaft jedes Körpers, den erfüllten Raum so einzunehmen, dafs er nicht gleichzeitig von einem anderen Körper eingenommen werden kann, heifst die **Undurchdringlichkeit.** Das Gesetz der Undurchdringlichkeit lautet: **Den Raum, den ein Körper einnimmt, kann nicht gleichzeitig ein anderer einnehmen.**

§ 52. Die Teilbarkeit.

Die Erfahrung lehrt, dafs alle Körper teilbar sind. Gase und Flüssigkeiten sehr leicht, feste Körper schwieriger. Ein Stück Marmor oder Zucker läfst sich in einem Mörser zu aufserordentlich feinem Staube zerreiben. Durch den täglichen Gebrauch werden von unseren Kleidern, Möbeln, Wänden und Dielen so kleine und daher leichte Teilchen abgetrennt, dafs sie als Sonnenstäubchen in der Luft schweben können. Von sehr feiner Verteilung in der Luft geben uns viele Stoffe durch den Geruch, in den Flüssigkeiten durch den Geschmack Kunde. Mit einem winzigen Körnchen Fuchsin läfst sich eine Weinflasche voll Wasser deutlich rot färben. Niemals werden wir behaupten dürfen, die Teilchen eines Körpers, z. B. eines Stückes Kreide, so klein gemacht zu haben, dafs mit feineren Werkzeugen nicht noch eine weitere Teilung möglich sei. Die Naturwissenschaft macht aber die **wissenschaftliche Annahme** oder **Hypothese**, dafs jeder (chemisch zusammengesetzte) Körper, z. B. Zucker, Quarz, Horn usf., aus kleinsten Teilchen bestehe, die wieder Zucker, Quarz, Horn sind, sich aber nicht weiter zerteilen lassen. — Nach dieser Annahme, welche als Grundlage für das Gebäude der Naturwissenschaft zu gelten hat, würde selbst die mit den feinsten mechanischen Mitteln fortgesetzte Teilung eines Körpers einmal eine Grenze haben. Jeder kleinste, nicht weiter in stofflich gleichartige Unterteile zerlegbare Teil eines Körpers heifst **ein Molekül** oder **eine Molekel.** Man spricht also von einem Molekül oder einer Molekel Wasser, einem Molekül oder einer Molekel Zinnober usf. Wegen ihrer Kleinheit entziehen sich die einzelnen Moleküle unserer Wahrnehmung. Nun lehrt aber die Chemie, dafs sowohl Wasser als Zinnober aus je zwei Körpern mit anderen Eigenschaften bestehen, Wasser aus Wasserstoff und Sauerstoff, Zinnober aus Quecksilber und Sauerstoff, und dafs Wasserstoff, Sauerstoff und Quecksilber einfache Körper oder Elemente sind, die sich chemisch nicht in einfachere Stoffe zerlegen lassen. Jedes Molekül Wasser oder Zinnober mufs demnach doch wieder aus noch einfacheren Teilen bestehen, die man Atome nennt. Ein **Atom** (= das Unteilbare) ist der kleinste Teil eines chemisch einfachen Körpers oder Elementes. Mehrere Atome verschiedener Elemente oder desselben Elementes, die aneinandergekettet sind, bilden ein Molekül. Die Lehre von den Atomen heifst Atomistik.

§ 53. Porosität, Ausdehnbarkeit und Zusammendrückbarkeit.

1. **Porosität.** Zahlreiche feste Körper, z. B. Schwamm, Kork, Bimsstein, Ziegelstein, Eichenholz, füllen den Raum, den sie einzunehmen scheinen, nicht völlig aus, sondern enthalten sichtbare Hohlräume, die man **Poren** nennt. Die Eigenschaft eines Körpers, Poren zu haben, heifst **Porosität.** Bei vielen Körpern, z. B. dichten Hölzern, Leder, Pappe, sind die Poren so klein, dafs man sie nur noch mit dem Vergröfserungsglase sehen kann. Bei anderen Körpern sind die Poren noch kleiner und lassen sich auch mit dem besten Vergröfserungsglase nicht mehr wahrnehmen; aber der Umstand, dafs solche Körper fähig sind, andere Körper aufzunehmen, beweist das Vorhandensein von Poren: Edelsteine lassen sich färben, durch Goldblech läfst sich Wasser*) pressen usf. Dafs auch Flüssigkeiten Poren enthalten, läfst sich zeigen, wenn man in ein kleines, mit eingeschliffenem Stöpsel verschliefsbares Glasfläschchen zur Hälfte Wasser bringt, nachher vorsichtig die andere Hälfte des Fläschchens bis zum Überfliefsen mit Weingeist auffüllt, das Fläschchen

*) Die Florentiner Akademie liefs 1661 eine hohle Goldkugel völlig mit Wasser füllen und fest verschliefsen. Wurde durch Druck das Volumen der Kugel verkleinert, so trat das Wasser durch die Poren des Goldbleches in Form eines feinen Beschlages aus.

fest verschliefst und dann schüttelt. Nach dem Schütteln zeigt sich das Volumen vermindert; die beiden Flüssigkeiten nehmen, innig gemischt, einen kleineren Raum ein, was ohne Poren nicht denkbar ist. Da die Luft in einem abgeschlossenen Gefäfse Wasserdampf aufnimmt, so mufs auch die Luft, wie alle Gase, Poren haben.

2. **Ausdehnbarkeit und Zusammendrückbarkeit.** Zu den allgemeinen Körpereigenschaften ist auch die Ausdehnbarkeit und die Zusammendrückbarkeit zu rechnen; beide Eigenschaften haben ihre Ursache in dem Umstande, dafs alle Körper porös sind. Während die Ausdehnung eines Körpers wahrscheinlich auf einer Vergröfserung der Poren beruht, hat die Zusammendrückbarkeit ihre Ursache in einer Verkleinerung der Poren. Eine Verkleinerung der Poren findet statt, wenn Körpern, namentlich Metallen, durch Walzen, Hämmern, Pressen und Prägen eine bestimmte Form gegeben wird.

3. Alle Körper sind schwer. Über die Schwere siehe zweite Abteilung II.

II. Wirkungen der Schwerkraft.

A. Wirkungen der Schwerkraft auf alle Körper ohne Unterschied.

a) Der freie Fall.

§ 54. Das Fallen eine Wirkung der Schwerkraft.

1. **Die Schwerkraft.** Wenn man einen vorher festgehaltenen Stein oder eine Münze losläfst, so bewegen sich diese Körper in gleicher Richtung nach der Erde hin, oder sie **fallen.** Diese Richtung wird durch einen Faden angegeben, an dessen einem Ende eine Bleikugel befestigt ist (Fig. 111); das Werkzeug heifst **das Lot oder Bleilot.**

Fig. 111.



Hält man das freie Ende des Fadens fest, so spannt die Kugel den Faden und gibt ihm die lotrechte oder senkrechte Richtung. Läfst man einen Körper neben dem Lote fallen, so beobachtet man, dafs er in lotrechter Richtung fällt. In lotrechter Richtung fallen reife Früchte, Regentropfen und Schneeflocken bei windstillem Wetter. **Alle irdischen Körper fallen, wenn sie nicht festgehalten oder unterstützt sind, in lotrechter Richtung;** dabei kommen sie dem Mittelpunkt der Erde näher.

Alle irdischen Körper haben das Bestreben, sich dem Mittelpunkt der Erde zu nähern.

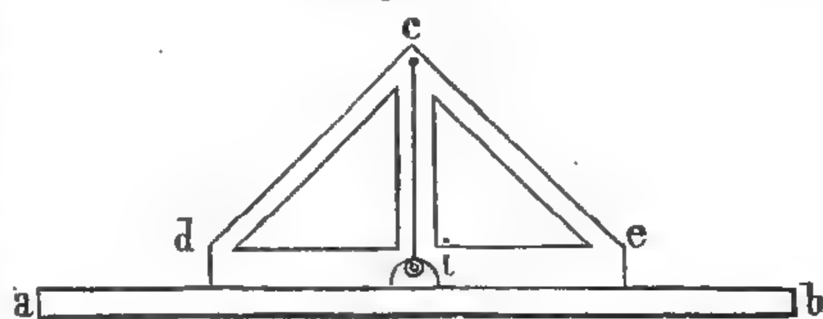
Das Bestreben der Körper, sich dem Mittelpunkt der Erde zu nähern, heifst die **Schwere.** Alle Körper besitzen Schwere oder sind schwer. (Über die Schwere der Luft siehe § 108, § 115.) Ursache der Schwere ist **die Schwerkraft,** d. h. die Anziehungskraft der Erde, welche alle Körper dem Erdmittelpunkt näher zu bringen sucht.

2. **Anwendungen.** Wir benutzen die Schwerkraft, wenn wir ein Rouleau herablassen, wenn wir Wanduhren durch sich abwärts bewegende Gewichte treiben, ferner wenn wir das an einer eingeteilten Schnur hängende Senkblei hinablassen, um die Tiefe des Meeres zu erforschen, oder wenn wir am Drahtseil gehende Bergbahnen durch Wasserbelastung oder andere schwere Körper in Bewegung setzen, wenn wir ein Gefäfs durch Umkippen entleeren, usf.

Das Lot wendet man an, wenn man Mauern oder Balken lotrecht zu errichten hat. Hält man ein Lot über einer ruhigen Wasserfläche, so bildet der Faden des Lotes mit der ebenen Wasserfläche rechte Winkel. Eine Ebene, welche mit dem Faden des Lotes rechte Winkel bildet, heifst eine wagerechte oder horizontale Ebene.

Um die wagerechte Richtung einer Kante (geraden Linie) oder Ebene zu bestimmen, bedient man sich der **Setzwage**. Die Setzwage besteht aus einem Brett und einem davor hängenden Lot. Das Brett bildet ein Dreieck *cde* (Fig. 112); von der Spitze *c* desselben aus bis nach der Mitte *i* der Grundlinie *de* ist eine gerade Linie *ci* eingeschnitten, welche mit der Grundlinie rechte Winkel bildet. In dem höchsten Punkte *c* der eingeschnittenen Linie ist der Faden eines Lotes befestigt; die Kugel des Lotes kann sich in einem halbkreisförmigen Ausschnitt über der Mitte der Grundlinie frei bewegen. Man stellt die Grundlinie der Setzwage auf der Kante, welche wagerechte Lage erhalten soll, auf; weicht dann die eingeschnittene Linie von der Richtung des Fadens am Lot nicht ab, so haben die Grundlinie der Setzwage und die Kante wagerechte Lage. Zur Bestimmung der wagerechten Lage einer Ebene ist es nötig, dafs der Faden der Setzwage wenigstens in zwei sich kreuzenden Stellungen auf der Ebene einspielt (§ 104, Anm.).

Fig. 112.



§ 55. Das Gewicht, die Masse.

Wenn ein Körper nicht unterstützt ist, so bewirkt die Schwerkraft, dafs er fällt. Wird aber ein Körper unterstützt, so offenbart sich die Schwerkraft durch einen Druck auf den unterstützenden Körper. Diesen Druck fühlt die Hand, wenn man ein Buch auf sie legt; hält sie das freie Ende eines Lotes, so empfindet man, dafs die Bleikugel an der Schnur zieht, indem sie das untere Ende derselben abwärts drückt. Ein grofser Stein drückt sich in den lockeren Boden ein, Walzen zerdrücken die Erdschollen, und Lastwagen lassen Geleise zurück. **Jeder unterstützte Körper übt einen Druck auf seine Unterstützung aus. Die beiden Hauptwirkungen der Schwerkraft** sind daher folgende: sie bewirkt erstens, dafs ein nicht unterstützter Körper in lotrechter Richtung fällt, und zweitens, dafs ein unterstützter Körper auf seine Unterstützung einen Druck ausübt.

Die Gröfse des Druckes, den ein Körper auf seine wagerechte Unterstützung ausübt, heifst sein absolutes Gewicht oder sein Gewicht. Vom Gewicht eines Körpers (welches ein Druck oder eine Kraft ist) ist zu unterscheiden seine Masse. Die **Masse** eines Körpers ist die Gesamtheit seiner Moleküle. Um das Gewicht eines Körpers zu bestimmen, vergleicht man mit Hilfe einer Wage seinen Druck mit dem eines Metallstücks von bekanntem Gewicht. Solche Metallstücke heifsen Gewichtstücke oder Gewichte. Als Gewichtseinheit dient das **Gramm.** Ein Gramm ist das Gewicht eines Kubikcentimeters Wasser (von 4° Wärme nach dem hundertteiligen Thermometer, § 170). Ein **Liter** gleich 1000 ccm Wasser wiegt 1000 g = 1 kg.

§ 56. Ruhe und Bewegung.

Ein Meilenstein an der Strafse scheint uns in Ruhe zu sein, weil sich seine Entfernungen von den Bäumen der Strafse und anderen Gegenständen nicht ändern. Für unser Urteil ist ein Körper in **Ruhe**, wenn sich seine Entfernungen von solchen Gegenständen nicht ändern, von deren fester Lage wir überzeugt sind. Ein Wagen, der auf einer Landstrafse fährt, erscheint uns in Bewegung, weil sich seine Entfernungen von dem Meilenstein ändern. Ein Körper ist für unser Urteil in **Bewegung**, wenn sich seine Entfernungen von Gegenständen, die wir für fest halten, ändern. Die Aufeinanderfolge der verschiedenen Orte, die ein Körper im Verlauf der Zeit einnimmt, nennt man den **Weg** des Körpers. Weil aber, wegen der unaufhörlichen Bewegung unseres Erdkörpers und aller Himmelskörper, kein Körper, von dem wir dem Augenscheine nach glauben, er sei in Ruhe, wirklich ruht, so ist sowohl jede von uns beobachtete Ruhe nur eine

scheinbare oder relative Ruhe und ebenso jede von uns beobachtete Bewegung nur die scheinbare oder relative Bewegung eines Körpers. Eine wirkliche oder absolute Ruhe, ebenso wie eine wirkliche oder absolute Bewegung eines Körpers können wir nie feststellen. Je nach der Gestalt des zurückgelegten Weges unterscheidet man geradlinige und krummlinige Bewegungen. Erfolgt die Bewegung immer an demselben Orte, so ist sie eine drehende (Uhrpendel, Maschinenwelle); im anderen Falle heifst sie fortschreitend.

§ 57. Gleichförmige Bewegung. Geschwindigkeit.

Erfolgt die Bewegung des Körpers so, dafs er in beliebig klein gewählten Zeiten, etwa in jeder Sekunde, gleiche Wege zurücklegt, so heifst die Bewegung gleichförmig. Bei jeder Bewegung kommt aufser der Richtung noch die Geschwindigkeit in Betracht, welche ein Mafs für die Schnelligkeit einer Bewegung ist. Ist die Bewegung gleichförmig, so gilt: **Die Geschwindigkeit ist der in einer Sekunde zurückgelegte Weg.** Legt ein Fufsgänger in 12 Minuten oder 720 Sekunden 1080 m zurück, so legt er in einer Sekunde 1080 m : 720 = 1,5 m zurück, oder seine Geschwindigkeit beträgt 1,5 m. Man findet also die Geschwindigkeit, indem man den in Metern gemessenen Weg durch die in Sekunden ausgedrückte Zeit dividiert.

$$1.\ \text{Geschwindigkeit} = \frac{\text{Weg}}{\text{Zeit}};\ \text{und daher}$$

$$2.\ \text{Zeit} = \frac{\text{Weg}}{\text{Geschwindigkeit}};\quad 3.\ \text{Weg} = \text{Geschwindigkeit} \times \text{Zeit}.\quad \text{Oder:}$$

Es beträgt ferner die Geschwindigkeit für:

Pferd im Trab	2 m	Schnelldampfer	15 m
Pferd in mäfsigem Galopp	4 m	Sturm	17—38 m
Radfahrer (über)	4,5 m	Granate	300—500 m
Personenzug	10 m	Schall in der Luft bei 0° C.	331 m
Schnellzug	15—20 m	Licht	300000 km

Eine Kegelkugel übt eine um so gröfsere Wirkung aus, je gröfser ihre Geschwindigkeit ist; von zwei Kugeln mit gleicher Geschwindigkeit übt die, welche das gröfsere Gewicht oder die gröfsere Masse hat, die gröfsere Wirkung aus. Eine mit der Hand geworfene Flintenkugel ist unwirksam; aus einem Gewehr abgeschossen, hat sie eine grofse Geschwindigkeit und eine grofse Wirkung. Ein Hammer, der langsam bewegt wenig ausrichtet, zerschlägt den Stein, wenn er schnell geschwungen wird; ist aber der Hammer sehr schwer, so zerschmettert er den Stein schon bei langsamer Bewegung. Ein bewegter Körper übt eine desto gröfsere Wirkung aus, je gröfser seine Geschwindigkeit und sein Gewicht oder seine Masse ist.

§ 58. Das Beharrungsgesetz.

1. Wenn in eine Röhre, die am linken Ende verschlossen ist und wagerecht auf der Tischplatte liegt, eine Kugel gelegt und die Röhre nach rechts gezogen wird, so wird dadurch auch die Kugel bewegt. Hält man aber die Röhre plötzlich an, und beendigt man dadurch ihre Bewegung, so setzt die Kugel ihre Bewegung noch eine Strecke fort und beharrt dabei in unveränderter Richtung nach der rechten Seite. Schiebt man ein mit Wasser gefülltes Glas zuerst langsam, dann schneller vorwärts, und hält man es dann mit einem Mal an, so setzt das Wasser seine Bewegung in derselben Richtung fort und fliefst über. Wenn ein Eisenbahnzug noch ziemlich weit von dem Bahnhofe entfernt ist, unterbricht man die Wirkung der Maschine; der Zug aber beharrt noch

eine Zeitlang in seiner Bewegung. Bewegt man den Stiel eines Hammers schnell abwärts gegen einen Stein, so setzt der Kopf des Hammers, wenn der Stiel schon zur Ruhe gekommen ist, seine Bewegung fort und wird dadurch fester auf den Stiel getrieben.

Ein lebloser Körper kann sich nicht von selbst in Bewegung setzen; ebensowenig kann er von selbst die Geschwindigkeit oder Richtung der ihm mitgeteilten Bewegung abändern. Daraus ergibt sich **das Beharrungsgesetz:**

Ein bewegter Körper beharrt mit unveränderter Richtung und Geschwindigkeit in seiner Bewegung so lange, bis er durch Einwirkung irgendeiner Kraft daran gehindert wird; ein ruhender Körper aber bleibt so lange in Ruhe, bis er durch irgendeine Kraft in Bewegung gesetzt wird.

Um einen Gegenstand, z. B. einen Wagen, aus dem Zustand der Ruhe in den Zustand der Bewegung überzuführen, wird Kraft erfordert, und zwar desto mehr, je gröfser das Gewicht oder die Masse des Gegenstandes ist. Desgleichen ist Kraft nötig, wenn ein in Bewegung befindlicher Körper, z. B. ein hinabrollendes Fafs, in den Zustand der Ruhe übergeführt werden soll.

2. Aus dem Beharrungsgesetz erklären sich folgende Erscheinungen an lebenden Wesen. Beim Wettrennen schiefsen die Pferde über das Ziel hinaus; Schlittschuhläufer, welche zu spät eine nicht mit Eis bedeckte Stelle wahrnehmen, können vor derselben nicht plötzlich stillstehen. Reiter stürzen über den Hals des Pferdes, wenn dessen schneller Lauf unvermutet gehemmt wird.

Wegen der Beharrung in der Bewegung neigt sich der Körper der auf der Eisenbahn oder Strafsenbahn Fahrenden vorwärts, wenn der Wagen plötzlich hält oder langsamer fährt, rückwärts, wenn er unvermittelt rascher fährt; ebenso neigt sich der Körper des Fahrgastes wegen der Beharrung in der Ruhe rückwärts, wenn sich der Wagen plötzlich in Bewegung setzt.

§ 59. Ungleichförmige Bewegung. Beschleunigung. Verzögerung.

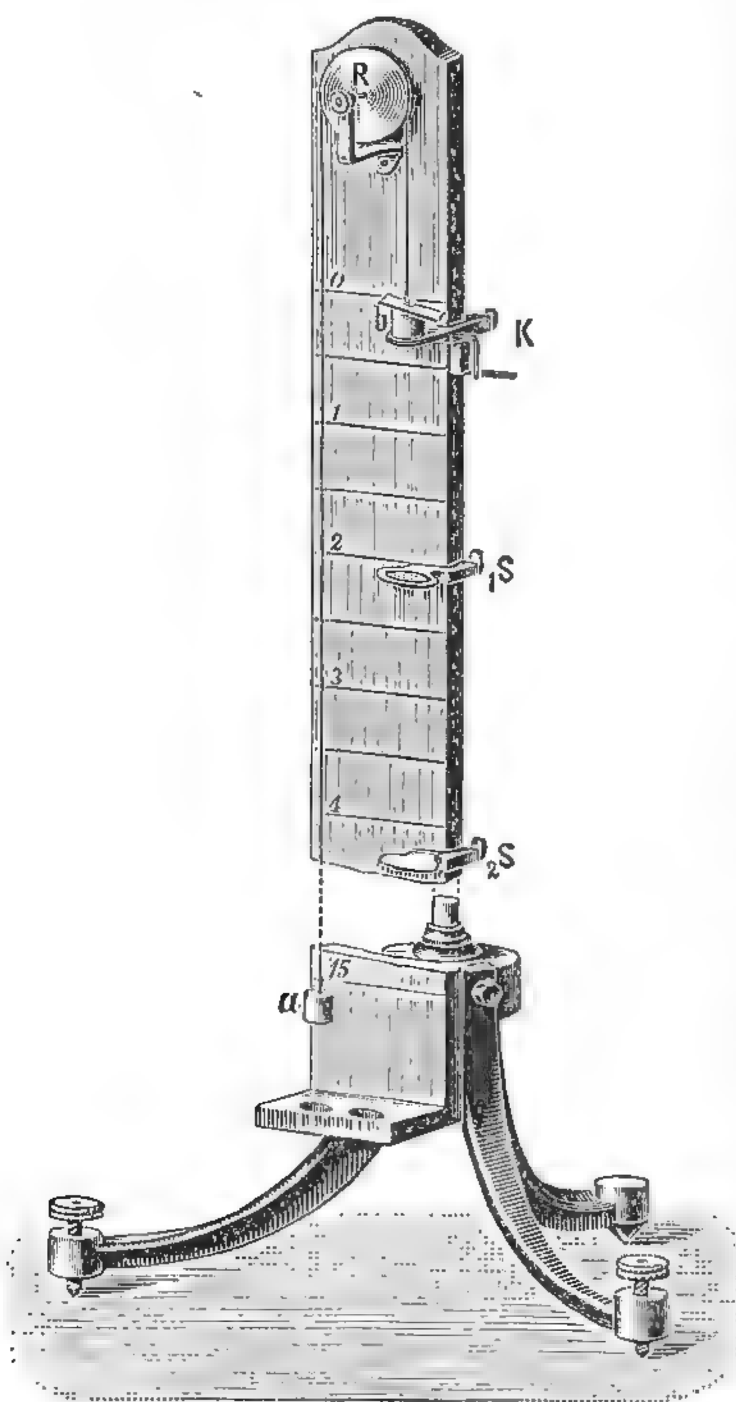
Eine Bewegung heifst ungleichförmig, wenn die in gleichen Zeiten zurückgelegten Wege nicht gleich sind. Werden die in gleichen Zeiten durchlaufenen Wege gröfser, so heifst die Bewegung beschleunigt; werden sie kleiner, so ist die Bewegung verzögert. Solange sich ein Körper gleichförmig bewegt, ist seine Geschwindigkeit der in einer Sekunde zurückgelegte Weg. Bewegt sich ein Körper nicht gleichförmig, so versteht man unter seiner Geschwindigkeit zu jedem Zeitpunkte den Weg, den der Körper im Laufe der nächsten Sekunde zurücklegen würde, wenn er sich während dieser Sekunde nur unter dem Einflusse der Trägheit bewegte, so dafs er also in dieser Sekunde weder dem Antriebe beschleunigend noch dem Hindernisse verzögernd wirkender Kräfte ausgesetzt wäre. Die Geschwindigkeitszunahme in einer Sekunde heifst die Beschleunigung, die Geschwindigkeitsabnahme die Verzögerung. Bleibt die Geschwindigkeitszunahme oder die Geschwindigkeitsabnahme bei einer Bewegung gleich, so heifst die Bewegung gleichmäfsig beschleunigt oder gleichmäfsig verzögert.

§ 60. Gleichmäfsig beschleunigte Bewegung. Die Fallgesetze.

1. **Gleichmäfsig beschleunigte Bewegung.** Zu den Versuchen dient, aufser einem Metronom oder einem Pendel, welche Sekunden schlagen, die vom Engländer Atwood erfundene **Fallmaschine** (zweckmäfsig in der Weinholdschen Form), welche die Fallbewegung verlangsamt, ohne ihre Gesetze zu ändern. Sie besteht im wesentlichen aus einem lotrechten, etwa 2 m hohen Ständer, der mit einer Centimeterteilung versehen ist und oben an wagerechter

Achse eine sehr leicht drehbare Rolle *R* trägt (Fig. 113). Über dieser Rolle liegt ein an beiden Enden mit Gewichten *a* und *b* beschwerter Faden. 1. Versuch. Es findet keine Bewegung statt, wenn diese Gewichte gleich sind. Beträgt jedes dieser Gewichte 72 g, rechnet man (Weinholds Apparat) die Masse der Rolle zu 50 g und legt auf das Gewicht *b* ein Übergewicht von 2 g, so setzt die Kraft von 2 g eine Gesamtmasse von (72 + 72 + 50 + 2) g = 196 g in Bewegung. Der Augenschein lehrt, daſs das sinkende Gewicht in jeder neuen Sekunde einen gröſseren Weg zurücklegt. Die Bewegung ist also beschleunigt, solange eine treibende Kraft wirkt. 2. Versuch. Man beschwert das Gewicht *b* von 72 g durch ein breites Übergewicht von 2 g und fängt es nach **zwei** Sekunden (20 cm unter dem Nullpunkt der Teilung) durch den Ringschieber S_1 ab. Das sinkende Gewicht beharrt in der Bewegung, die es am Ende der zweiten Sekunde hat; es befindet sich 1 Sekunde später 40 cm, 2 Sekunden später 60 cm, nach 3 Sekunden 80 cm unter dem Nullpunkt usf. Die bewegte Masse legt also in jeder Sekunde 20 cm zurück, bewegt sich daher gleichförmig, nachdem sie von der treibenden Kraft befreit ist: Die nach zwei Sekunden beschleunigter Bewegung erlangte Geschwindigkeit beträgt 20 cm. 3. Versuch. Dann lasse man die Masse von 196 g durch das gleiche Übergewicht drei Sekunden lang beschleunigt sinken und beobachte den in gleichförmiger Bewegung zurückgelegten Weg des sinkenden Gewichtes in der 4. Sekunde. Zu diesem Zwecke stellt man den Ringschieber S_1 45 cm, den Vollschieber S_2 75 cm unter dem Nullpunkt ein. Das in der 4. Sekunde gleichförmig sinkende Gewicht schlägt am Ende derselben auf S_2 auf. Die Endgeschwindigkeit nach 3 Sekunden ist also 30 cm. Alsdann lasse man das Übergewicht 4 Sekunden lang beschleunigend wirken. S_1 wird 80 cm, S_2 120 cm unter Null festgemacht. Das Übergewicht wird nach 4 Sekunden von S_1 abgehoben, das alsdann gleichförmig sinkende Gewicht schlägt am Ende der 5. Sekunde auf S_2 auf. Die Endgeschwindigkeit beträgt nach 4 Sekunden also 40 cm. Zusammenstellung: Die Zeit der beschleunigten Bewegung betrug nacheinander 2, 3, 4 Sekunden, die zugehörigen Endgeschwindigkeiten wurden gefunden zu 20, 30, 40 cm. Die Geschwindigkeit hat folglich nach jeder Sekunde den gleichen Zuwachs oder die gleiche Beschleunigung von 10 cm erhalten; die Bewegung ist also gleichmäſsig beschleunigt. Es ergibt sich: **Wirkt eine sich gleichbleibende Kraft dauernd auf eine Masse, so entsteht eine gleichmäſsig beschleunigte Bewegung,** vorausgesetzt, daſs die Kraft keinen anderen als den von der Beharrung herrührenden Widerstand, den sogenannten Beharrungswiderstand, zu überwinden hat.

Fig. 113.



Da die Geschwindigkeit zu Anfang der Bewegung 0 cm, die Beschleunigung aber 10 cm beträgt, so folgt: Die Geschwindigkeit nach 1 Sekunde beträgt 10 cm. Die Beschleunigung ist also gleich der Geschwindigkeit am Ende der 1. Sekunde.

2. Die Fallgesetze. Das vornehmste Beispiel einer gleichmäfsig beschleunigten Bewegung bildet (für nicht zu grofse Fallhöhen) der freie Fall (vergl. § 61). a. Versuche. Die vorhergehenden Versuche zeigen, dafs eine Kraft von 2 g einer Masse von 196 g die Beschleunigung gleich 10 cm erteilt. Wird die gleiche Masse (71 + 71 + 50 + 4) g = 196 g durch eine Kraft von 4 g in Bewegung gesetzt, so ergibt sich die Beschleunigung 20 cm; bei der auf dieselbe Masse (70 + 70 + 50 + 6) g = 196 g wirkenden Kraft von 6 g erhält man als Beschleunigung 30 cm. (Im ersten dieser beiden letzten Fälle mufs man das breite Übergewicht nach 1 Sekunde Fallzeit 10 cm, im zweiten 15 cm unter dem Nullpunkt durch den Ringschieber S_1 abheben lassen; den Schieber S_2 schraubt man 30 cm bez. 45 cm unter Null fest, damit am Ende der 2. Sekunde das sinkende Gewicht aufschlägt.) Der gleichen Masse 196 g erteilt die Kraft von 2 g die Beschleunigung 10 cm, die doppelte Kraft 2 × 2 g die doppelte Beschleunigung 2 × 10 = 20 cm, die dreifache Kraft 3 × 2 g die dreifache Beschleunigung 3 × 10 = 30 cm usf.; dementsprechend wird eine 98 mal gröfsere Kraft 98 × 2 g = 196 g die 98 mal gröfsere Beschleunigung 98 × 10 cm = 980 cm erzeugen. Wenn aber auf die Masse von 196 g die beschleunigende Kraft von 196 g einwirkt, so fällt die Masse frei herunter. Es ergibt sich: **Die Beschleunigung des freien Falles** oder **die Beschleunigung der Schwere beträgt 980 cm, 9,8 m,** oder nahezu 10 m.

Die Geschwindigkeit des freien Falles wächst also, infolge der dauernd wirkenden Schwerkraft, mit jeder Sekunde um 980 cm, sie beträgt zu Anfang der 1. Sekunde 0 cm, nach 1 Sekunde 1 × 980 cm, nach 2 Sekunden 2 × 980 cm, nach 3 Sekunden 3 × 980 cm usf., nach t Sekunden t × 980 cm. **Erstes Fallgesetz:**

> **Die Endgeschwindigkeit eines frei fallenden Körpers nach Verlauf einer beliebigen Anzahl von Sekunden ist gleich der Beschleunigung der Schwere, multipliziert mit der Zahl der verflossenen Sekunden.** Oder: Die Endgeschwindigkeit eines fallenden Körpers vervielfältigt sich ebenso wie die Sekundenzahl der Fallzeit.

b. Versuche. An der Fallmaschine ergibt sich als Fallweg in der 1. Sekunde 5 cm, wenn die Masse 196 g durch die Kraft 2 g in Bewegung gesetzt wird. Der Fallweg in der 1. Sekunde ist 2 × 5 cm = 10 cm, wenn die gleiche Masse durch 2 × 2 g = 4 g, er ist 3 × 5 cm = 15 cm, wenn dieselbe Masse durch 3 × 2 g = 6 g Kraft bewegt wird. Folgerung: Bewegen sich 196 g Masse durch 98 × 2 g = 196 g Kraft, so findet freier Fall statt und dann mufs, den vorhergehenden Versuchen entsprechend, der Fallweg in der ersten Sekunde 98 × 5 cm = 490 cm (nahezu 5 m) betragen. Das ist die Hälfte der Beschleunigung der Schwere oder der Geschwindigkeit am Ende der ersten Sekunde.

Zweites Fallgesetz: Der Fallweg in der ersten Sekunde ist halb so grofs als die Geschwindigkeit am Ende der ersten Sekunde.

Beim Anfang des Fallens hat ein Körper die Geschwindigkeit null, nach 1 Sekunde 980 cm. In der Mitte der Sekunde ist die Geschwindigkeit (0 + 980) : 2 = 490 cm. Für den durchlaufenen Weg ist der Erfolg derselbe, als hätte der Körper sich die ganze Sekunde hindurch mit der sich gleichbleibenden mittleren Geschwindigkeit von 490 cm bewegt.

An der Fallmaschine wird eine Masse durch eine Kraft in beschleunigte Bewegung gesetzt, die kleiner ist als das Gewicht der bewegten Masse. Die vorigen Versuche lehren aber, dafs man die beim freien Fall stattfindenden Wege und Geschwindigkeiten aus den an der Fallmaschine beobachteten Werten erhält, wenn man diese Werte mit der Zahl vervielfältigt, mit welcher man das als Kraft benutzte Übergewicht vervielfältigen mufs, um das Gewicht der bewegten Gesamtmasse zu erhalten. Diese Zahl ist 98, wenn 196 g Masse durch 2 g Kraft bewegt werden.

c. Versuch. Man setze an der Fallmaschine 196 g Masse durch das Übergewicht 2 g in Bewegung und beobachte die Fallstrecken in den aufeinanderfolgenden Sekunden. Das sinkende Gewicht durchläuft in der 1. Sekunde 5 cm, in der 2. Sekunde 15 cm = 3 × 5 cm (von 5 cm bis 20 cm), in der 3. Sekunde 25 cm = 5 × 5 cm (von 20 cm bis 45 cm), in der 4. Sekunde 35 cm = 7 × 5 cm (von 45 cm bis 80 cm) usf. Die entsprechenden Fallwege eines frei fallenden Körpers sind 98 mal gröſser und verhalten sich gleich den an der Fallmaschine beobachteten Wegen zueinander wie die ungeraden Zahlen 1 : 3 : 5 : 7 usf.

Drittes Fallgesetz: Die Fallwege in den aufeinanderfolgenden Sekunden verhalten sich zueinander wie die ungeraden Zahlen.

Die Fallwege der beschleunigten Bewegung in den einzelnen aufeinanderfolgenden Sekunden sind so groſs, wie sie sein würden, wenn die Bewegung gleichförmig mit der aus Anfangs- und Endgeschwindigkeit der betreffenden Sekunde gebildeten mittleren Geschwindigkeit vor sich gegangen wäre.

d. Versuche. Man setze wieder 196 g Masse durch 2 g Übergewicht in Bewegung und beobachte die Fallwege des sinkenden Gewichtes nach einer, zwei, drei, vier, fünf Sekunden usf. Nach 1 Sekunde ist der Fallweg 5 cm, nach 2 Sekunden 20 cm = 5 cm × 4, nach 3 Sekunden 45 cm = 5 cm × 9, nach 4 Sekunden 80 cm = 5 cm × 16, nach 5 Sekunden 125 cm = 5 cm × 25. Die Fallwege des freien Falles sind 98 mal so groſs: 490 cm × 1, 490 cm × 4, 490 cm × 9, 490 cm × 16, 490 cm × 25 usf. 490 cm ist aber die Hälfte der Beschleunigung der Schwere, die 980 cm beträgt. Die ganzen Fallwege, vom Beginn des Fallens an gerechnet, verhalten sich daher zueinander wie die Zahlen 1, 4, 9, 16, 25 usf., das sind die Quadratzahlen der Fallzeiten.

Viertes Fallgesetz: Der Fallweg ist gleich der halben Beschleunigung der Schwere, vervielfältigt mit der Quadratzahl der verflossenen Sekunden. Oder: Die ganzen Fallwege, vom Anfang des Fallens an gerechnet, verhalten sich zueinander wie die Quadratzahlen der Fallzeiten.

Die Fallgesetze sind um das Jahr 1600 von Galilei, Professor zu Pisa, aufgefunden und nachher durch wiederholte Versuche von hohen Türmen aus oder in tiefen Schächten bestätigt worden. Die Gesetze des freien Falles sind zugleich die Gesetze für jede gleichförmig beschleunigte Bewegung; nur wird in jedem besonderen Falle die Beschleunigung eine andere sein können.

Fig. 114.



An einer Ramme wirkt der Rammklotz desto mehr, je höher der Punkt liegt, von dem er herabfällt, weil während des Falles seine Geschwindigkeit zunimmt. Hagelkörner erlangen ihre den Kornfeldern verderbliche Gewalt zum Teil durch die groſse Geschwindigkeit, mit der sie fallen; von einer bedeutenden Höhe hinabzuspringen, ist darum gefährlich, weil wir mit zunehmender Geschwindigkeit den Boden erreichen.

§ 61. Fallversuche im luftleeren Raum.

Legt man in ein hohes Glasgefäſs eine Münze und eine Feder und pumpt die Luft aus dem Gefäſs, so fallen, wenn man es schnell umkehrt, die Feder und die Münze zu gleicher Zeit auf den Boden des Gefäſses (Fig. 114). Man hat 5 m hohe Gefäſse luftleer gemacht und durch viele Fallversuche festgestellt:

Im luftleeren Raum fallen alle Körper gleich schnell.

Der Widerstand der Luft ist die Ursache, daſs Körper, die beim Fallen der Luft viel Oberfläche bieten, wie z. B. ein Blatt Papier, ziemlich langsam fallen. Legt man auf eine groſse Münze, die man wagerecht hält, eine etwas kleinere Papierscheibe, und läſst man beide Körper fallen, so gelangen sie zu gleicher Zeit auf dem Fuſsboden an, weil die Luft durch die Münze verdrängt wird und das Papier nicht aufhält.

b) Der Fall auf der schiefen Ebene.

§ 62. Die schiefe Ebene und ihre Anwendung.

1. Ein ebenes Brett, das mit einem Ende auf dem Tische ruht, und dessen anderes Ende man emporhebt, bildet eine schiefe Ebene. Jede Ebene, die mit der Horizontalebene einen spitzen Winkel bildet, heifst **eine schiefe Ebene.** Die Länge $AB = l$ einer schiefen Ebene (Fig. 115) ist die Entfernung ihres höchsten Punktes A von ihrem tiefsten Punkte B. Die Höhe $AC = h$ einer schiefen Ebene ist der lotrechte Abstand ihres höchsten Punktes A von der wagerechten Ebene. Eine wagerechte Linie $BC = b$ vom tiefsten Punkt der schiefen Ebene bis zur Höhe heifst die Basis oder Grundlinie der schiefen Ebene. Auf der als schiefe Ebene dienenden Vorrichtung (Fig. 116) befinde sich als Last L eine Walze oder ein durch eine Achse verbundenes Räderpaar von 600 g Gewicht. Die Länge der schiefen Ebene sei 30 cm, die Höhe 1 cm. Um zu untersuchen, wieviel Kraft dazu gehört, um diese Last am Hinabrollen zu hindern oder ihr das Gleichgewicht zu halten, ist oben an der schiefen Ebene eine Rolle so angebracht, dafs die von der Achse des Räderpaares über die Rolle geleitete Schnur mit der schiefen Ebene gleichlaufend ist. Hängt man an das freie Ende K der Schnur nacheinander verschiedene Gewichte, so zeigt sich, dafs unter Einschlufs des Gewichtes der Wagschale 20 g das Räderpaar am Hinabrollen hindern. Die

Fig. 115.

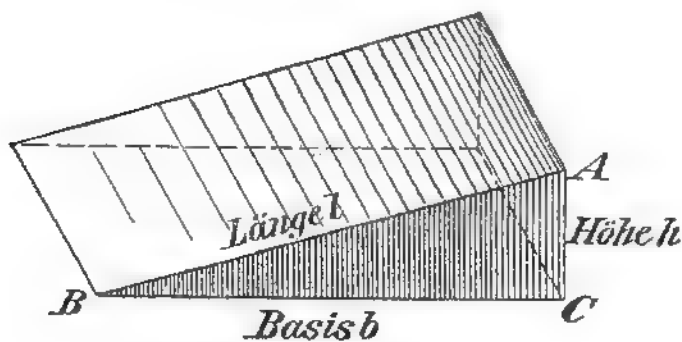
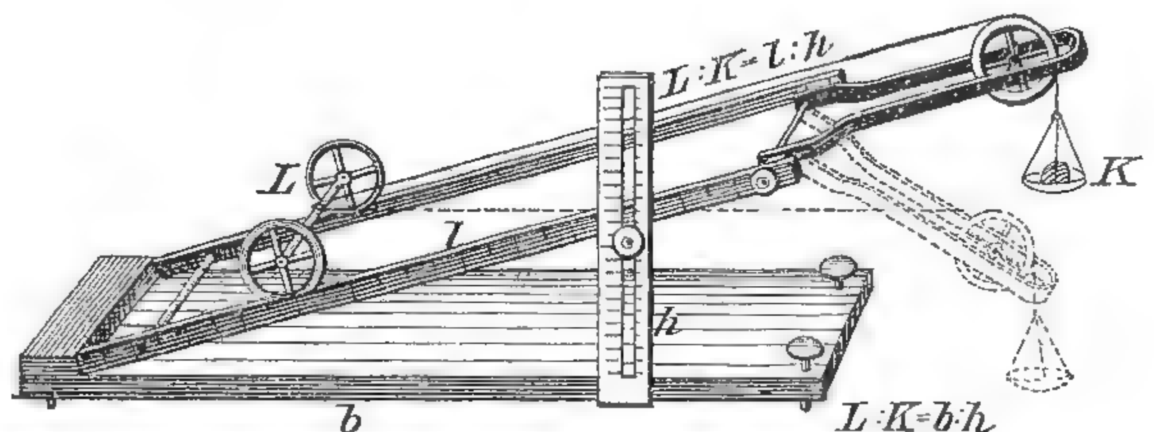


Fig. 116.



Kraft von 20 g hält der Last von 600 g das Gleichgewicht. Die Kraft verhält sich zur Last wie 20 zu 600, oder wie 1 zu 30. Aber auch die Höhe h der schiefen Ebene (1 cm) verhält sich zu der Länge l derselben (30 cm) wie 1 zu 30. — Verstellt man die Vorrichtung so, dafs die Höhe der schiefen Ebene 3 cm, die Länge wieder 30 cm beträgt, so verhält sich die Höhe zur Länge wie 3 zu 30 oder wie 1 zu 10. An das freie Ende der Schnur müssen wir (einschliefslich des Schalengewichts) 60 g hängen, um das Gleichgewicht herzustellen. Die Kraft von 60 g verhält sich dann auch zu der 600 g schweren Last wie 1 zu 10. — Wenn die Kraft gleichlaufend mit der Länge der schiefen Ebene wirkt, gilt das Gesetz: **Auf der schiefen Ebene ist Gleichgewicht vorhanden, wenn sich die Kraft zur Last verhält, wie die Höhe der schiefen Ebene zu ihrer Länge.**

Die Gleichgewichtsbedingung lautet:

$$\frac{\text{Kraft}}{\text{Last}} = \frac{\text{Höhe der schiefen Ebene}}{\text{Länge der schiefen Ebene}}.$$

2. Das Verhältnis der Höhe zur Länge heifst **die Steigung der schiefen Ebene.** Bei einer Höhe von 1 m und einer Länge von 100 m beträgt die Steigung $^1/_{100}$. Die Steigung gibt an, den wievielten Teil der Länge die Höhe der schiefen Ebene beträgt. Ist die Steigung $^1/_{100}$, so ist die zum Gleichgewicht nötige Kraft gleich $^1/_{100}$ der Last. Bei einer Steigung von $^2/_{75}$ beträgt die Kraft $^2/_{75}$ von der Last. Die Steigung gibt daher zugleich an, den wievielten Teil der Last die zum Gleichgewicht erforderliche Kraft beträgt. Soll auf einer schiefen Ebene, welche $^1/_{50}$ Steigung hat, einer Last von 150 kg das Gleichgewicht gehalten werden, so mufs die Kraft $= 150 \text{ kg} \times \frac{1}{50} = 3$ kg sein. Diese Zahl erhält man, indem man die Last mit

der Steigung vervielfältigt. Man findet **die Gröfse der für das Gleichgewicht nötigen Kraft,** indem man die Last mit der Steigung der schiefen Ebene vervielfältigt.

Zum Gleichgewicht mufs sein:

$$\text{Kraft} = \text{Last} \times \frac{\text{Höhe der schiefen Ebene}}{\text{Länge der schiefen Ebene}}.$$

3. Die Kraft kann auch in der Richtung *CB*, parallel mit der Basis *b* (Fig. 115) der schiefen Ebene wirken. Stellt man in der Vorrichtung Fig. 116 den beweglichen oberen Teil so, dafs der Faden parallel zur Basis gespannt wird, dann findet man 60 g als das Gewicht, welches man einschliefslich der Schale als Kraft wirken lassen mufs, um Gleichgewicht herzustellen bei einer Höhe von 3 cm und einer Basis gleich 30 cm, also bei dem Verhältnis der Höhe zur Basis wie 1 zu 10. Die Kraft 60 g verhält sich beim Gleichgewicht aber zur Last 600 g auch wie 1 zu 10. Wenn die Kraft gleichlaufend mit der Basis der schiefen Ebene wirkt, so gilt das Gesetz: **Auf der schiefen Ebene ist Gleichgewicht, wenn sich die Kraft zur Last verhält, wie die Höhe der schiefen Ebene zu ihrer Basis.**

Die Gleichgewichtsbedingung lautet:

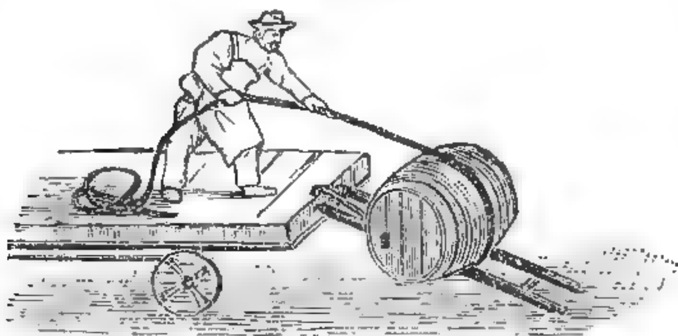
$$\frac{\text{Kraft}}{\text{Last}} = \frac{\text{Höhe der schiefen Ebene}}{\text{Basis der schiefen Ebene}}.$$

Zum Gleichgewicht mufs sein:

$$\text{Kraft} = \text{Last} \times \frac{\text{Höhe der schiefen Ebene}}{\text{Basis der schiefen Ebene}}.$$

4. **Anwendungen.** Bei Anwendung einer schiefen Ebene ist zum Gleichgewicht nur eine Kraft aufzuwenden, die kleiner ist als die Last. Bei ein wenig vergröfserter Kraft bewegt sich die Last empor. Man bedient sich daher zum Hinaufbringen von Fässern der Schrotleiter, die schräg gegen den Lastwagen gelegt wird (Fig. 117). Bei Bauten legt man Rampen an, um die Baustoffe, vor Sägemühlen schräge Holzbahnen, um die Bäume hinaufzubefördern. Treppen und Leitern sind schiefe Ebenen mit Stufen und desto bequemer, je weniger steil sie emporsteigen. Bergstrafsen und Bergbahnen setzt man aus mehreren im Zickzack hin und her führenden oder schraubenförmig sich um eine Anhöhe windenden schiefen Ebenen zusammen. In ziemlich ebenen Gegenden sucht man aufsteigende Landstrafsen zu vermeiden, damit den Zugtieren nicht eine zu grofse Arbeit aufgebürdet wird.

Fig. 117.



§ 63. Die mechanische Arbeit und ihr Mafs.

1. Ein Arbeiter, der eine Last auf einen Wagen hebt, hat eine mechanische Arbeit zu vollbringen; er mufs, solange die Last unterwegs ist, eine gewisse Kraft anwenden. Der Buchbinder, der ein Stück Pappe durchzuschneiden hat, mufs durch den Druck auf das Messer, also durch einen Kraftaufwand den Widerstand überwinden, den die Pappe dem Zerschneiden längs des ganzen vom Messer durchlaufenen Weges entgegensetzt. **Eine mechanische Arbeit** besteht darin, dafs längs eines durchlaufenen Weges, durch Aufwand von Kraft, ein Widerstand überwunden wird.

2. Soll mit dem Pfluge eine Furche gezogen werden, so ist der Widerstand zu überwinden, den der Erdboden der Furchenbildung entgegensetzt. **Die Arbeit ist desto gröfser, je gröfser der Arbeitsweg ist,** also je länger die Furche werden soll; sie ist aber auch dann gröfser, wenn das Erdreich schwerer ist und der Furchenbildung gröfseren Widerstand entgegensetzt, also **je gröfser die angewandte Kraft ist.** Die Herstellung von zwei, drei, vier Furchen gleicher Länge in gleichem Erdreiche usf. erfordert einen zwei-, drei-, viermal so langen Arbeitsweg und daher auch zwei-, drei-, viermal so viel Arbeit als eine Furche. Wird aber etwa von zwei Zugtieren in einem anderen Erdreich, welches der Furchenbildung den

doppelten oder dreifachen Widerstand entgegensetzt, je eine Furche von derselben Länge gezogen wie im leichteren Erdreich, so wird auch in diesen Fällen, obwohl der Arbeitsweg der gleiche geblieben ist, wegen des nötigen doppelten bezw. dreifachen Kraftaufwandes, die doppelte bezw. dreifache Arbeit geleistet. Wenn ein Lastträger Getreide zwei oder drei gleich hohe Stockwerke im Speicher hinaufschafft, so leistet er, wegen des zwei- oder dreimal gröfseren Arbeitsweges, zwei oder dreimal so viel Arbeit, als wenn er mit der gleichen Last nur ein Stockwerk ersteigt. Wenn er aber 3 Scheffel Getreide in einen ein Stockwerk hohen Speicher hinaufträgt, während ein Kind 1/2 Scheffel hinaufbringt, so ist die Arbeit des Erwachsenen sechsmal so grofs, weil er einen sechsfachen Druck zu überwinden oder die sechsfache Kraft anzuwenden hat. Eine Arbeit ist also auch hier desto gröfser, je gröfser der Arbeitsweg und je gröfser die angewandte Kraft ist. Um eine mechanische Arbeit zu messen, mufs man daher sowohl den Arbeitsweg als auch die Gröfse der angewandten Kraft kennen. Als Arbeitsweg ist immer der Weg zu betrachten, der in der Richtung der Kraft zurückgelegt ist. Bei dem Emportragen des Getreides auf den Speicher ist es offenbar für die geleistete Arbeit gleichgültig, ob der Lastträger eine mehr oder weniger steile Treppe oder Leiter emporsteigt. Die Länge der Treppe oder Leiter ist der wirkliche Weg des Lastträgers. Der Arbeitsweg ist der in der Richtung der senkrecht nach oben wirkenden Hubkraft gemessene Weg, also die Höhe der erstiegenen Stockwerke. Der Arbeitsweg wird nach Metern, die Kraft nach Kilogrammen gemessen.

3. Wie als Mafs für eine Linie eine Linie, als Mafs für eine Fläche eine Fläche dient, so kann eine mechanische Arbeit nur durch eine Arbeit von bestimmter Kraft und bestimmtem Arbeitsweg gemessen werden. Nun gibt es keine einfachere Arbeit, als eine Last lotrecht emporzuheben. Man hat deshalb die Arbeit, welche erfordert wird, um ein Kilogramm ein Meter lotrecht emporzuheben, **ein Meter-Kilogramm** (m-kg) **oder Kilogramm-Meter** (kg-m) genannt und **als Mafs für mechanische Arbeiten** angenommen. — 50 kg 1 m hoch zu schaffen, ist eine Leistung von 50 m-kg; dieselbe Last 10 m emporzuheben, macht eine zehnmal so grofse Arbeit, von 50×10 m-kg, nötig. Die Arbeit ist gleich dem Produkt aus der Last mit ihrem Wege. Wirken Kraft und Last in demselben Punkte, so sind beide gleich grofs und wirken auf gleichem Wege. **Die Arbeit einer Kraft ist daher gleich dem Produkt aus der Kraft mit ihrem Arbeitswege.** Oder:

Arbeit = Kraft × Weg (der Weg gemessen in der Richtung der Kraft).

4. Von der Arbeit ist die Arbeitsleistung zu unterscheiden. Unter Arbeitsleistung, der Leistung oder dem Effekt der Arbeit versteht man die in der Zeit einer Sekunde vollbrachte Arbeit. Die **Einheit der Leistung** oder des Arbeitseffektes ist **ein Meter-Kilogramm, geleistet in einer Sekunde.** Eine Arbeitsleistung von **75 Meter-Kilogramm in einer Sekunde** heifst eine **Pferdekraft.**

§ 64. Die goldene Regel der Mechanik.

1. Hat man eine Last von 200 kg 1 m hoch zu schaffen, so spart man bei Benutzung einer schiefen Ebene an Kraft. Beträgt die Länge der schiefen Ebene 8 m, so ist deren Höhe 1 m oder 1/8 der Länge, und man hat nur eine Kraft aufzuwenden, die den 8. Teil von 200 kg ausmacht, also eine Kraft von 25 kg. Keineswegs hat man aber weniger Arbeit. Denn wenn die Kraft parallel zur Länge wirkt, ist der Weg der Kraft oder der Arbeitsweg achtmal so lang geworden; 200 kg 1 m hoch zu heben, ist eine Arbeit von 200 m-kg, und auf einem Arbeitsweg von 8 m eine Kraft von 25 kg aufzuwenden, ist auch eine Arbeit von $25 \times 8 = 200$ m-kg. Das Produkt 200×1 ist gleich dem Produkt 25×8. **Das Produkt**

aus der Last mit dem Wege der Last ist stets gleich dem Produkt aus der Kraft mit dem Wege der Kraft. Nennt man das Produkt aus Last mal Lastweg die gewonnene Arbeit, das Produkt aus Kraft mal Kraftweg die getane oder verbrauchte Arbeit, so gilt der Satz: **Die gewonnene Arbeit ist stets gleich der getanen oder verbrauchten Arbeit.** Ferner verhält sich 25 zu 200 wie 1 zu 8. Die Kraft verhält sich stets zur Last wie der Weg der Last zu dem Wege der Kraft.

Fig. 118.



2. Durch keine Maschine wird an Arbeit gespart. Aber die Arbeit wird umgewandelt und verändert, so dafs eine Kraft, die kleiner ist als die Last, einen gröfseren Arbeitsweg durchläuft als in der gleichen Zeit die Last. Die Ersparnis an Kraft heifst der mechanische Vorteil; die dadurch herbeigeführte Vergröfserung des Arbeitsweges wird der mechanische Nachteil genannt. Von allen Maschinen gilt

die goldene Regel der Mechanik: Der mechanische Nachteil ist ebenso grofs wie der mechanische Vorteil, oder: was man durch eine Maschine an Kraft gewinnt, das verliert man am Wege. Daher läfst sich durch Anwendung einer Maschine wohl **Kraft, aber niemals Arbeit ersparen.**

§ 65. Die Reibung.

1. Von einer schiefen Ebene mit geringer Neigung gleitet ein hölzerner Würfel nicht hinab; es mufs also ein Hindernis der Bewegung vorhanden sein. Jeder Körper hat an seiner Oberfläche Erhöhungen und Vertiefungen. Ein auf einem anderen ruhender Körper sinkt mit seinen Erhöhungen in die Vertiefungen des anderen ein. Soll ein Körper auf einer Bahn bewegt werden, so müssen die Unebenheiten umgebogen oder losgerissen werden, oder der bewegte Körper mufs über sie hinweggehoben werden (Fig. 119). Der einer Bewegung eines Körpers auf einem anderen sich entgegenstellende Widerstand, welcher vom Ineinandergreifen der Unebenheiten der Oberflächen herrührt, heifst **die Reibung.**

Fig. 119.



2. **Anwendungen der Reibung.** Wir benutzen die Reibung, um die Bewegung von Gegenständen zu hindern, welche festgehalten werden sollen. Die Unebenheiten der Hand drängen sich zwischen die der festgehaltenen Feder, die eines Bandes zwischen die des Pakets, die eines eingeschobenen Deckels zwischen die des Tuschkastens. Wir vergröfsern die Reibung, indem wir schräge Schreibpulte mit Tuch überziehen, indem wir auf Glatteis Sand streuen, indem wir Wagenräder durch Bremsvorrichtungen aufhalten. Keile und Schrauben werden durch Reibung festgehalten. Wir benutzen die Reibung aber auch, um Gegenstände in Bewegung zu setzen. Jedes Wagenrad wird durch die Reibung am Erdboden festgehalten und infolgedessen durch den Druck der Wagenachse nach vorn gerollt; jede Rolle wird durch die Reibungen an der Schnur bewegt, jede Violinsaite durch die Reibung am Bogen.

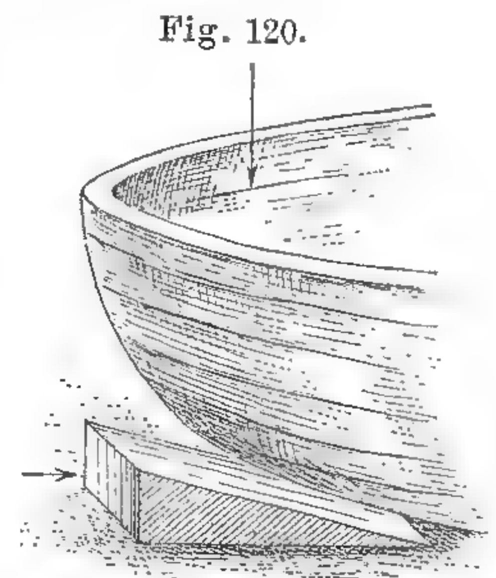
3. **Die beiden Arten der Reibung.** Man unterscheidet die Reibung eines auf einer Bahn dahingleitenden Körpers, eines Schlittens, von der Reibung eines sich wälzenden Körpers, eines Wagenrades, **die gleitende und die wälzende Reibung.** Die wälzende Reibung ist geringer als die gleitende, weil die Unebenheiten eines rollenden Körpers sich über die der Bahn hinwegheben. Daher die Anwendung von Rädern an Fuhrwerken und von Rollen unter Möbeln.

4. **Gröfse der Reibung.** Die Reibung nimmt ebenso zu, wie der Druck zwischen den sich berührenden Körpern. Aber sie ist unabhängig von der Gröfse der sich berührenden Flächen; denn in demselben Mafse, in welchem bei Vergröfserung der Flächen die Zahl der Unebenheiten zunimmt, nimmt der Druck auf die einzelnen Punkte ab. Die Reibung wird durch die Rauheit der sich berührenden Körper vergröfsert, ist für verschiedene Körper verschieden und wird durch passende Schmiermittel verringert. Bei Beförderung auf wagerechten Strafsen und Eisenbahnen besteht die Arbeit, nachdem die Wagen in Bewegung gesetzt sind (aufser der Überwindung des Luftwiderstandes), in der Überwindung der Reibung. Für einen Wagen auf sandigem Landwege beträgt die Reibung die Hälfte der Last; auf einer Landstrafse beträgt die Reibung für Wagen 0,05, auf einer Eisenbahn 0,005 von der Last, auf einer glatten Schneebahn für einen Schlitten 0,04. 2000 kg erfordern auf einem Sandwege zur Überwindung der Reibung eine Kraft von 1000, auf einer wagerechten Chaussee von 100, auf einer Eisenbahn von 10 kg.

§ 66. Der Keil und seine Anwendung.

1. Es gibt feste und bewegliche schiefe Ebenen. Eine bewegliche schiefe Ebene heifst **ein Keil.** Ein Keil ist ein gerades, dreiseitiges Prisma, dessen Grundflächen entweder zwei langgestreckte rechtwinklige oder gleichschenklige Dreiecke sind (Fig. 120, 121). Die kleinste der viereckigen Seitenflächen heifst der Rücken, die dem Keilrücken gegenüberliegende Kante die Schneide des Keils. Die beiden gröfseren viereckigen Seitenflächen heifsen die Seiten des Keils. Sind die dreieckigen Grundflächen rechtwinklige Dreiecke, so heifst der Keil ein **einfacher Keil.** Der Rücken des einfachen Keils entspricht der Höhe, die Länge des Keils der Basis der schiefen Ebene. Der einfache Keil kommt zur Anwendung, indem er zur Hebung von Lasten horizontal fortbewegt wird (Fig. 120). Weil in diesem Falle die Kraft parallel, die Last senkrecht zur Basis der (beweglichen) schiefen Ebene wirkt, gilt der Satz: **Am einfachen Keil ist Gleichgewicht, wenn sich die Kraft zur Last verhält, wie die Breite des Rückens zur Länge des Keils.**

Fig. 120.



Die Gleichgewichtsbedingung am einfachen Keil ist:

$$\frac{\text{Kraft}}{\text{Last}} = \frac{\text{Rückenbreite}}{\text{Länge des Keils}}. \quad \text{Also: Kraft} = \text{Last} \times \frac{\text{Rückenbreite}}{\text{Länge des Keils}}.$$

Der Kraftaufwand ist also bei unveränderter Last um so kleiner, je schmäler der Rücken und je länger der Keil ist.

Sind (Fig. 121) die dreieckigen Grenzflächen *abc* Dreiecke mit zwei gleichen Seiten, so ist der Keil ein **doppelter Keil.** Der doppelte Keil läfst sich als eine Zusammensetzung von zwei gleichen schiefen Ebenen betrachten, die mit der Basis aufeinandergelegt sind, oder als Zusammensetzung von zwei gleichen einfachen Keilen *aco* und *bco*. **Es erfordert** in ähnlicher Weise **der doppelte Keil desto weniger Kraft, je schmäler im Vergleich zu seiner Länge sein Rücken ist.** Zur Bestätigung dient die in Fig. 122 dargestellte

Fig. 121.

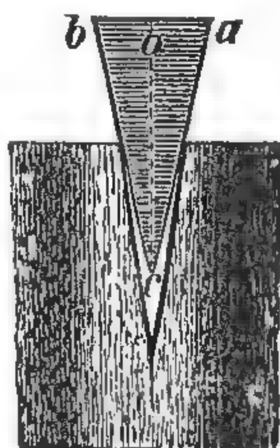
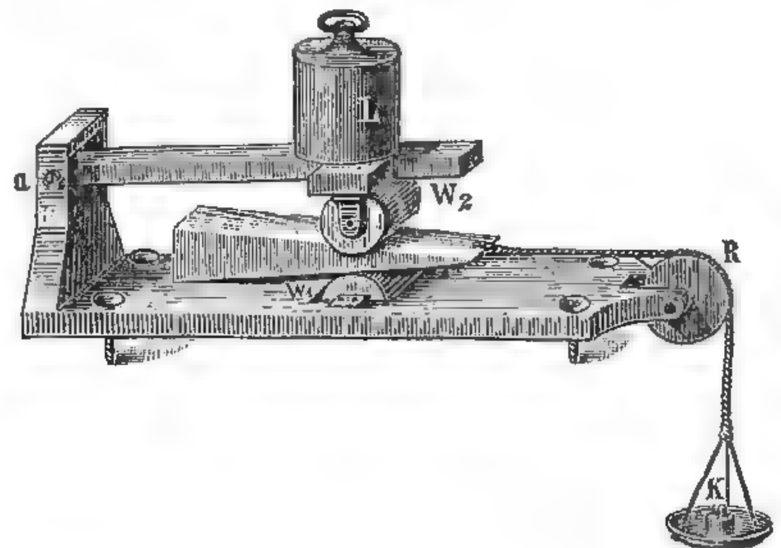


Fig. 122.



Vorrichtung. Man mufs aber nach der goldenen Regel desto längere Zeit arbeiten, um mit einem schmalen Keile die Last hoch genug zu heben oder die Teile des Holzes weit genug zu trennen. Aufserdem stellt sich dem Keil eine bedeutende Reibung entgegen, die einen grofsen Teil der auf die Bewegung des Keils verwandten Arbeit verzehrt.

2. **Anwendungen.** Der Keil dient zum Heben von Lasten, als Trennungsmittel und als Befestigungsmittel. a) Zum Heben von Lasten verwendet man Keile auf den Werften, wo man sie unter die Schiffe treibt, um diese emporzuheben. Um den festgenagelten Deckel einer Kiste emporzuheben, treibt man unter denselben einen eisernen Keil, den Meifsel, und um einen Nagel auszuziehen, schiebt man unter seinen Kopf die beiden Keile, aus denen der Kopf der Nagelzange besteht. b) Als Trennungsmittel dienen die schneidenden und stechenden Werkzeuge, die nichts anderes sind als Keile. Der Landmann zerteilt seinen Acker mit den metallenen Keilen der Pflugschar, des Spatens und der Egge; Meifsel und Axt sind die Keile des Zimmermanns, seine Messer, das Eisen des Hobels und die Zähne der Säge die des Tischlers. Auch Säbel, Degen und Sporen sind Keile. c) Während bei den übrigen Anwendungen des Keils die Reibung hindernd wirkt, beruht auf der Reibung das Festsitzen der Keile. Als Befestigungsmittel dienen Nägel, deren Unebenheiten von den Unebenheiten des Holzes festgehalten werden. Auch Tuchnadeln sind Keile, die wegen der Reibung festsitzen.

§ 67. Die Schraube.

1. Windet man (Fig. 123) ein dreieckiges Stück Papier *abc*, dessen schräg aufsteigende Seite *cb* die Länge einer schiefen Ebene darstellt, um einen (Glas-)Zylinder, so bildet die Länge der schiefen Ebene eine Schraubenlinie. Eine Schraube oder Schraubenspindel ist eine um einen Zylinder gewundene schiefe Ebene. Jede vollständige Windung derselben um ihren Zylinder heifst ein Schraubengang. Der in der Richtung der Zylinderachse gemessene Abstand zweier Schraubengänge oder die Höhe der schiefen Ebene, die jeder einzelne Schraubengang bildet, heifst die Höhe eines Schraubengangs oder Ganghöhe. Die Schraubenspindel, deren Windungen erhaben sind, greift in die Schraubenmutter, einen kurzen, hohlen Zylinder, in dessen Inneres die Schraubengänge vertieft eingeschnitten sind. Bilden die Schraubengänge im Querschnitt ein Dreieck, so heifst das Gewinde scharfgängig (Fig. 124); ist der Querschnitt der Schraubengänge viereckig, so ist das Gewinde flachgängig (Fig. 125). Betrachtet man die Schraube als schiefe Ebene, ihre Ganghöhe als Höhe, ihren Spindelumfang als Basis der schiefen Ebene und beachtet, dafs beim Anziehen der Schraube die Kraft stets in der Richtung des kreisförmigen Spindelumfanges, also in der Richtung der Basis der schiefen Ebene, die zu überwindende Last aber in der Achsenrichtung der Spindel, also senkrecht zur Basis der schiefen Ebene wirkt, so kann man unter Anwendung des betreffenden Satzes von der schiefen Ebene den Satz aussprechen: **An der Schraube ist Gleichgewicht, wenn sich die Kraft zur Last verhält, wie die Höhe eines Schraubenganges zur Länge des Spindelumfanges.**

Fig. 123.

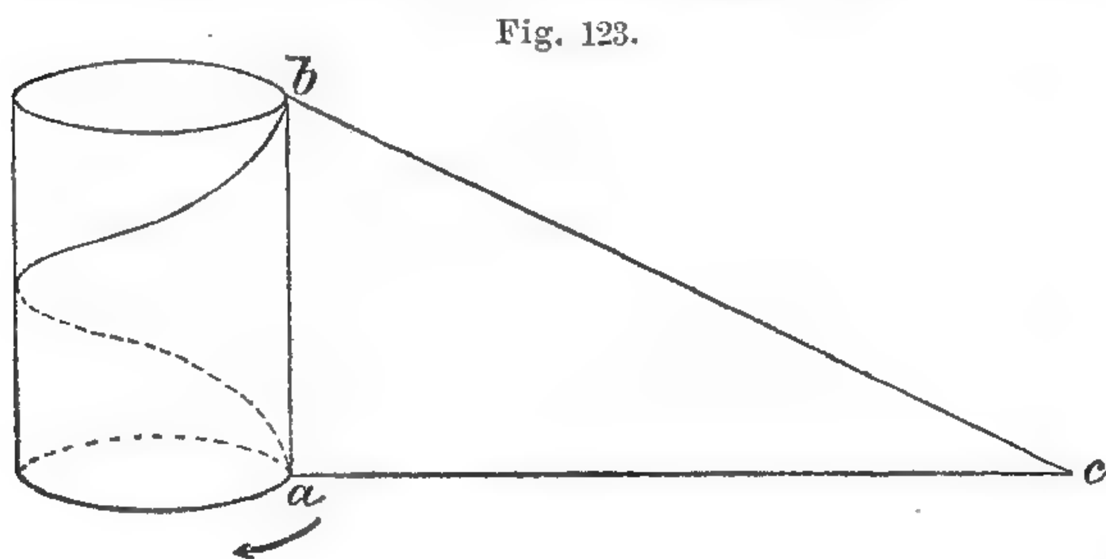


Fig. 124.

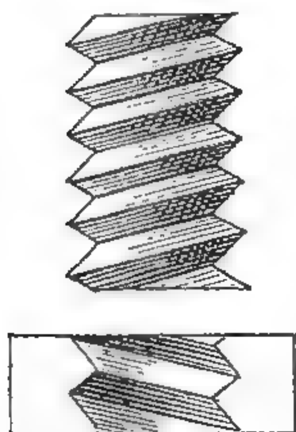
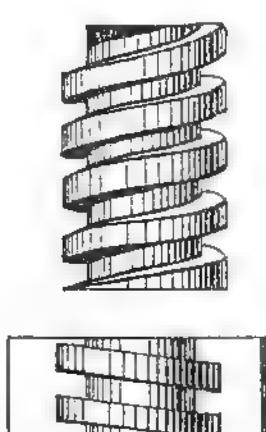


Fig. 125.



Die Gleichgewichtsbedingung ist:

$$\frac{\text{Kraft}}{\text{Last}} = \frac{\text{Ganghöhe}}{\text{Spindelumfang}}, \text{ daher: Kraft} = \text{Last} \times \frac{\text{Ganghöhe}}{\text{Spindelumfang}}.$$

Eine Schraube erfordert für das Gleichgewicht und daher auch für die Bewegung desto weniger Kraft, je niedriger im Vergleich zu ihrem Umfange die Schraubengänge sind. Auch bei der Schraube geht ein grofser Teil der auf ihre Bewegung verwandten Arbeit durch die bedeutende Reibung verloren.

2. **Anwendung** findet die Schraube zum Heben von Lasten, zur Ausübung eines beträchtlichen Drucks und als Befestigungsmittel. a) Die Hebeschraube dient den Zimmerleuten, um, wenn sie das Erdgeschofs eines Hauses aus Fachwerk ausbessern, die Balken des oberen Stockwerks etwas höher zu schrauben. b) Die Schraubenpressen haben entweder eine bewegliche Spindel, wie die Buchdruckerpressen, Kopierpressen (Fig. 126) und die Bremsvorrichtungen der Fuhrwerke, oder bewegliche Schraubenmuttern, wie die Buchbinder- und Pflanzenpressen (Fig. 127). c) Als Befestigungsschrauben wirken die gewöhnlichen Holzschrauben.

Fig. 126.

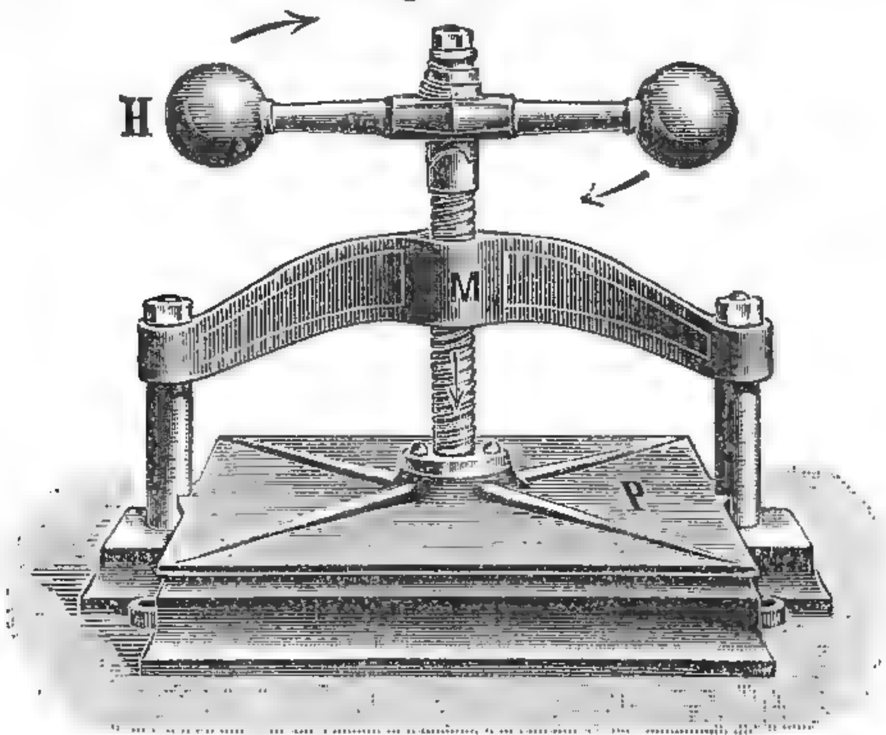
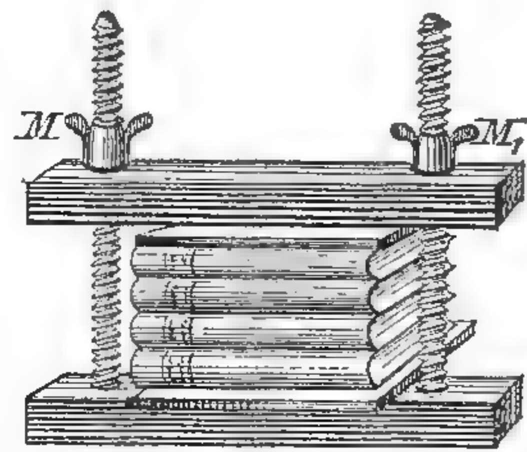


Fig. 127.

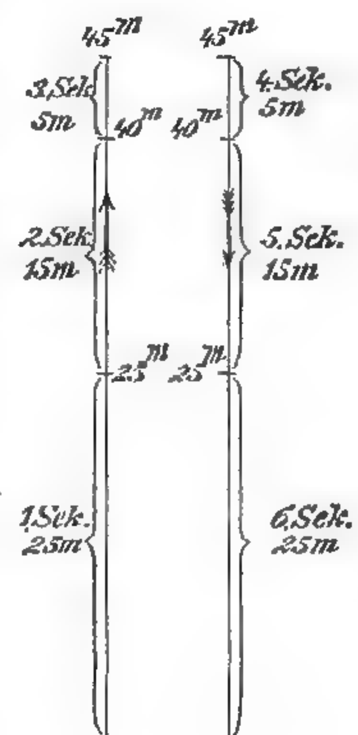


c) Der Fall geworfener Körper.

§ 68. Bewegung lotrecht geworfener Körper.

Wenn ein Pfeil lotrecht in die Höhe geschossen wird mit einer Kraft, die ihn in einer Sekunde durch 6×5 m treiben würde, so hält ihn die seiner Bewegung entgegen wirkende Schwerkraft in der ersten Sekunde (rund) um 1×5 m zurück, so dafs er nur 5×5 m steigt (Fig. 128); in der zweiten Sekunde erleidet der Pfeil durch die Schwerkraft am Wege einen Verlust von 3×5 m und bewegt sich nur durch 3×5 m; in der dritten Sekunde hält die Schwerkraft ihn um 5×5 m zurück, er steigt nur noch 1×5 m. In der vierten Sekunde fällt der Pfeil 1×5 m, weil ihn die Schwerkraft 7×5 m hinabbewegt, während er nur 6×5 m zu steigen vermöchte; in der fünften Sekunde fällt er 3×5, in der sechsten Sekunde 5×5 m und gelangt wieder zur Erde. Die Schwerkraft hat den steigenden Körper in jeder Sekunde um den Fallweg derselben zurückgehalten. Der Pfeil hat drei Sekunden zum Steigen und gleichfalls drei Sekunden zum Fallen gebraucht. 1. Ein lotrecht in die Höhe geworfener Körper steigt demnach ebenso lange, als er fällt. Ferner hat der Pfeil in den drei ersten Sekunden die Höhe von $(5 + 3 + 1) \times 5$ m $= 9 \times 5$ m erreicht; beim

Fig. 128.



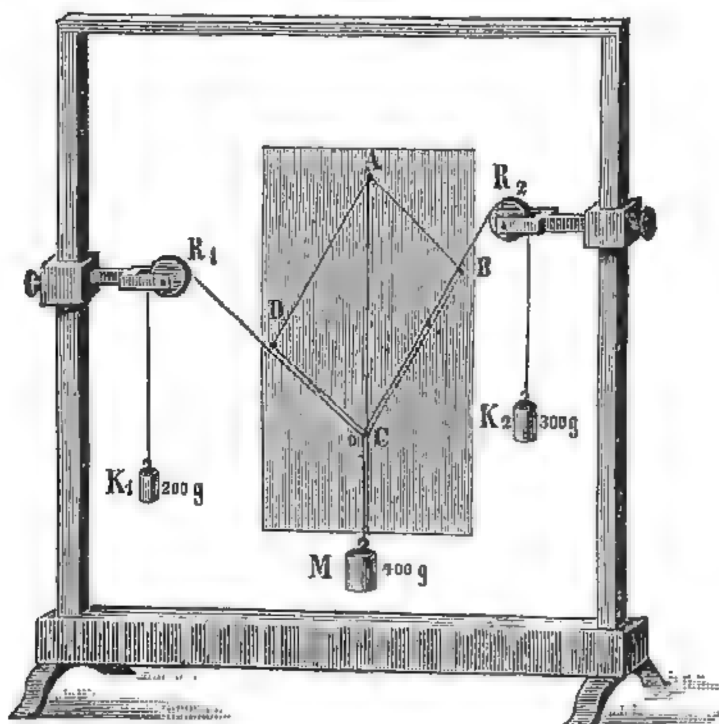
freien Fall hat er denselben Weg $(1+3+5) \times 5 = 9 \times 5$ m, in drei Sekunden zurückgelegt. 2. Die Höhe, welche ein lotrecht emporgeworfener Körper erreicht, ist so grofs, wie der Weg, den ein freifallender Körper in gleicher Zeit zurücklegt. —

Von der Anfangsgeschwindigkeit des emporgeworfenen Körpers raubt die Schwerkraft in jeder Sekunde (rund) 10 m, sie verringert die Anfangsgeschwindigkeit, welche $6 \times 5 = 30$ m beträgt, in der ersten Sekunde um 10 m, in der zweiten wieder um 10 m und so weiter. Die Geschwindigkeit des steigenden Körpers beträgt am Ende der ersten Sekunde $30 - (1 \times 10) = 20$ m, am Ende der zweiten Sekunde $30 - (2 \times 10) = 10$ m und am Ende der dritten Sekunde $30 - (3 \times 10) = 0$ m. Nun fällt der Körper, und seine Geschwindigkeit beträgt am Ende der vierten Sekunde $(4 \times 10) - 30 = 10$ m, am Ende der fünften Sekunde $(5 \times 10) - 30 = 20$ m und am Ende der sechsten Sekunde $(6 \times 10) - 30 = 30$ m. Die Anfangsgeschwindigkeit betrug 30 m, die Endgeschwindigkeit beträgt auch 30 m. Allemal, wenn der steigende und der fallende Körper gleiche Geschwindigkeit hat, ist die Höhe dieselbe; in 25 m Höhe beträgt die Geschwindigkeit des steigenden, sowie des fallenden Körpers 20 m, in 40 m Höhe ist die Geschwindigkeit 10 m, in 45 m Höhe 0 m. 3. Die Geschwindigkeit eines lotrecht emporgeworfenen Körpers ist beim Steigen und Fallen in gleichen Höhen gleich grofs, insbesondere ist sie am Anfang des Steigens ebenso grofs, wie am Ende des Fallens. Weil die Geschwindigkeit eines lotrecht emporsteigenden Körpers fortwährend abnimmt, ist seine Bewegung eine verzögerte, und weil seine Gegeschwindigkeit für jede Sekunde gleich viel abnimmt, ist die Bewegung eines lotrecht emporsteigenden Körpers eine gleichmäfsig verzögerte Bewegung.

§ 69. Zusammensetzung von Kräften.

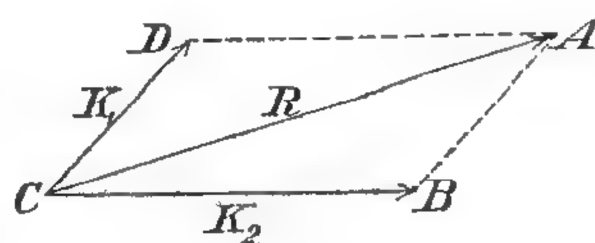
Das Kräfteparallelogramm. An jeder Kraft ist zu unterscheiden: 1. ihre Gröfse, gemessen durch Gewichtseinheiten, etwa Kilogramm oder Gramm, 2. ihre Richtung, 3. ihr Angriffspunkt an einem Körper. Man befestigt an einer Schnur, an der unten ein Gewicht *M* (400 g) hängt, oben einen glatten Ring und zieht durch diesen eine Schnur, deren Enden man über zwei in einer Ebene liegende Rollen R_1, R_2 führt und mit Gewichten K_1 (200 g) und K_2 (300 g) beschwert (Fig. 129). Nach einiger Bewegung tritt Ruhe ein, das lotrecht nach unten ziehende Gewicht *M* wird von den seitlich nach oben ziehenden Gewichten K_1 und K_2 im Gleichgewicht gehalten. Fassen wir die Gewichte als Kräfte auf, so würde die lotrecht nach unten wirkende Kraft von 400 g im Gleichgewicht gehalten werden durch eine in *C* angreifende Kraft, die lotrecht nach oben wirkte und auch 400 g grofs wäre; dieselbe Wirkung üben aber die in den Richtungen *CD* und *CB* ziehenden Kräfte von 200 g und 300 g aus. Zeichnet man auf ein Stück Papier den Winkel *BCD* auf, macht den Schenkel *CD*, in dessen Richtung 2×100 g wirken, zwei, den Schenkel *CB*, in dessen Richtung 3×100 g ziehen, drei Längeneinheiten grofs und zeichnet das Parallelogramm *ABCD*, so findet man, dafs die Diagonale *CA* in der Richtung der Kraft von 400 g verläuft und die Gröfse von vier Längeneinheiten hat, so dafs ihr eine Kraft von 400 g ent-

Fig. 129.



sprechen würde. Stellen also die Strecken CD und CB nach Gröfse und Richtung zwei im Punkte C angreifende Kräfte dar, so stellt die Diagonale CA des Kräfteparallelogramms $ABCD$ nach Gröfse und Richtung die Kraft dar, welche die beiden Kräfte CD und CB vollständig ersetzen kann. Zwei in einem Punkt angreifende Kräfte, deren Richtungen miteinander einen Winkel bilden, werden **Seitenkräfte oder Komponenten** genannt. Eine Kraft, welche dieselbe Wirkung hat, wie zwei Seitenkräfte zusammengenommen, heifst die **Mittelkraft oder die Resultierende**. Es ergibt sich als

Fig. 130.



Gesetz vom Parallelogramm der Kräfte: Die Mittelkraft R (Fig. 130) **zweier durch Strecken dargestellten Kräfte, die in einem Punkte angreifen, ist nach Gröfse und Richtung die Diagonale des aus den Seitenkräften** K_1, K_2 **gezeichneten Parallelogramms.**

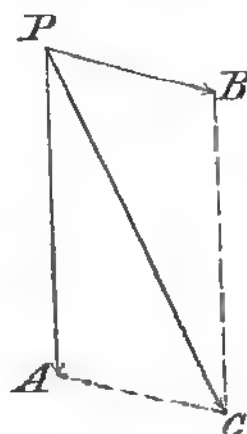
§ 70. Zusammensetzung von Bewegungen.

An der einen Ecke eines Brettes, dessen vier Seiten gleiche Länge haben, sind zwei Hämmer so angebracht, dafs man beide zugleich gegen eine auf dem Brette vor ihnen liegende Kugel schlagen lassen kann. Läfst man zuerst den einen Hammer gegen die Kugel schlagen, so bewegt sie sich längs der einen Seite des Brettes; läfst man den zweiten Hammer allein gegen die Kugel schlagen, so läuft sie längs der anderen Seite des Brettes; läfst man dagegen beide Hämmer zugleich gleich stark gegen die Kugel schlagen, so bewegt sie sich in einer Richtung, die zwischen ihren beiden früheren Richtungen liegt, nach der gegenüberliegenden Ecke, sie durchläuft die Diagonale des Vierecks.

Wird ein Schiff von der Strömung des Wassers in einer Sekunde 1 m nordwärts, zugleich aber vom Winde ebensoweit ostwärts getrieben, so gelangt es durch das Zusammenwirken beider Kräfte nach Nordosten. Bei starkem Winde schlagen die Regentropfen und Schneeflocken eine mittlere Richtung zwischen der lotrechten Richtung der Schwerkraft und der wagerechten Richtung des Windes ein.

In diesen Fällen wirken auf einen Körper zwei Kräfte, deren Richtungen miteinander einen Winkel bilden. Es werden dem Körper gleichzeitig Antriebe zu zwei Bewegungen in verschiedenen Richtungen erteilt, so dafs die wirklich eintretende Bewegung eine zusammengesetzte wird. Man kann die Richtung, in welcher jede einzelne Kraft den Körper bewegen würde, durch eine Linie darstellen, die von dem Punkte P ausgeht, wo der Körper sich ursprünglich befindet (Fig. 131); jede der beiden Linien PA und PB macht man so lang, als der Weg ist, durch welchen jede einzelne Kraft den Körper in einer Sekunde treiben würde. Zieht man durch A und B zu PB und PA die Parallelen AC und BC, so entsteht ein Parallelogramm $PACB$, dessen Diagonale PC sowohl die Richtung als auch die Gröfse des vom Körper in einer Sekunde durchlaufenen Weges angibt. — Es gilt das

Fig. 131.



Gesetz vom Parallelogramm der Bewegungen: Werden einem Körper gleichzeitig zwei Antriebe zu zwei Bewegungen erteilt, deren Richtungen einen Winkel bilden, so ist der Weg des Körpers die Diagonale des aus den Einzelwegen gezeichneten Parallelogramms.

§ 71. Die Bewegung schräg aufwärts oder wagerecht geworfener Körper.

Auf jeden schräg empor oder wagerecht geworfenen Körper wirken zwei Kräfte in verschiedenen Richtungen, die Wurfkraft und die Schwerkraft, so dafs

seine Bewegung eine zusammengesetzte ist. Hätte **nur die Wurfkraft** auf sie gewirkt, so würden die Körper wegen des Beharrungsgesetzes in gleichen Zeiten gleiche Wege *ab*, *bc*, *cd*, *de* zurücklegen, der schräg aufwärts geworfene Körper in

Fig. 132.

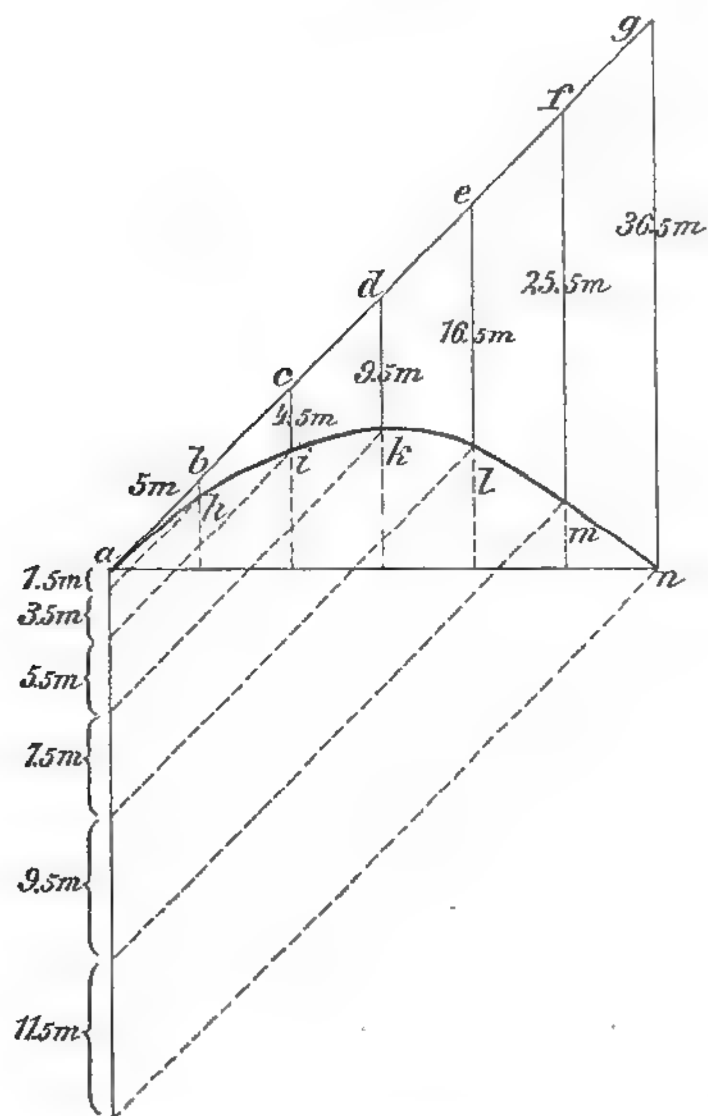
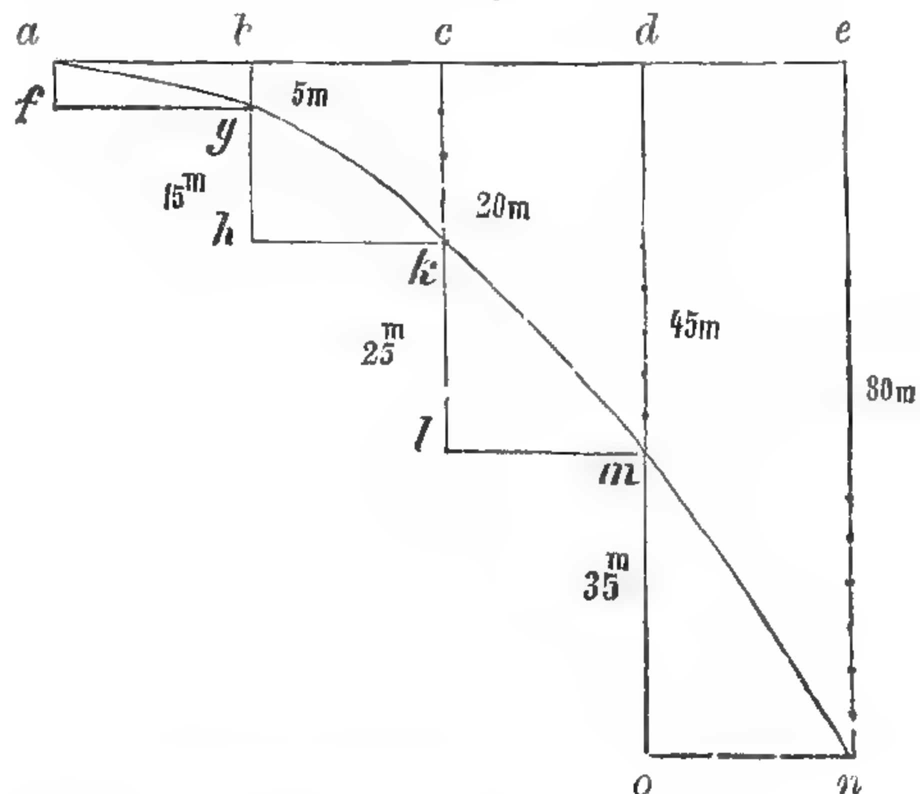


Fig. 133.



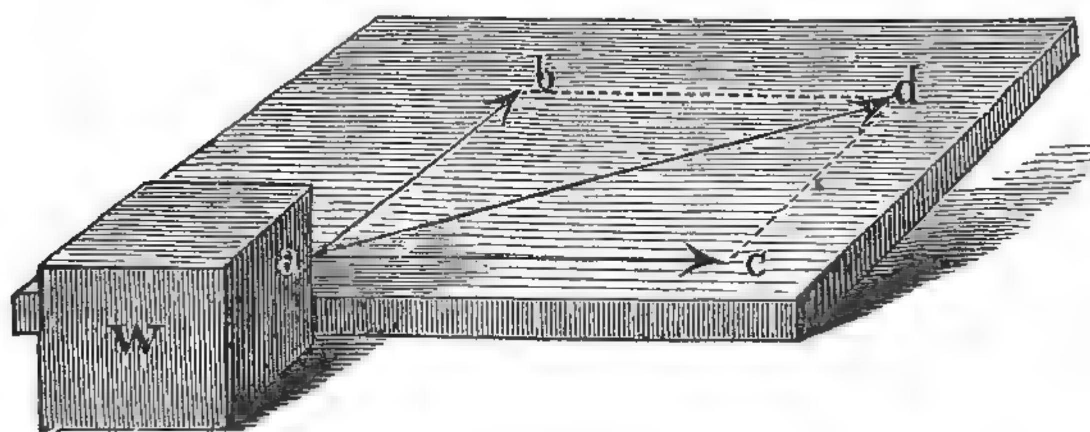
der ihm gegebenen Richtung *ag* (Fig. 132), und der wagerecht geworfene in wagerechter Richtung *ae* (Fig. 133). Gleichzeitig wirkt aber die Schwerkraft auf die geworfenen oder geschossenen Körper und zieht sie in einer Sekunde (rund) 5 m, in 2 Sekunden 4×5 m, in 3 Sekunden 9×5 m abwärts. Der Weg des schräg emporgeworfenen Körpers gestaltet sich zu einer krummen Linie *ahiklmn*, welche Parabel genannt wird; der Weg des wagerecht geworfenen Körpers ist eine krumme Linie *agkmn*, eine halbe Parabel.

Gesetz: Der Weg eines schräg aufwärts geworfenen Körpers ist eine Parabel, der eines wagerecht geworfenen Körpers eine halbe Parabel.

§ 72. Zerlegung von Kräften.

1. Nach dem Gesetz vom Parallelogramm der Kräfte läfst sich auch eine Kraft zerlegen, d. h. es lassen sich für eine Kraft zwei Seitenkräfte von derselben Wirkung angeben. Dies wird erfordert, wenn eine Kraft schief angreift. Wenn (Fig. 134) an einem vor der Kante eines unbeweglichen Brettes aufgestellten Würfel *W* eine Kraft *ad* unter schiefen Winkeln angreift, so zerlegt sich diese Kraft in zwei andere. Die eine Seitenkraft bewirkt unter rechten Winkeln in der Richtung *ab* einen Druck gegen das Brett. Die andere Seitenkraft bewegt den Würfel parallel mit der vorderen Kante des Brettes in der Richtung *ac*. Man zeichnet von *d* aus die Linie *dc* parallel mit *ab* und die Linie *db* parallel mit *ac*. Dann ist *abdc* das Parallelogramm der Kräfte; *ab* und *ac* sind die beiden Seitenkräfte, welche die Kraft *ad* ersetzen. Da die ursprüngliche Kraft die Richtung *ad* hat, der Körper sich aber

Fig. 134.



in der Richtung ac bewegt, so ergibt sich: Die Richtung, in welcher sich ein Körper bewegt, kann eine andere sein als die, welche die ursprüngliche Kraft hat. Läſst man ferner die Kraft ad am Würfel rechtwinklig zur vorderen Brettkante in der Richtung ab angreifen, so bewegt sie den Würfel gar nicht, aber der Druck gegen die vordere Brettkante wird um so viel gröſser, als ad länger ist als ab. Das schiefe Angreifen der Kraft bewirkt, daſs der senkrecht zur Brettkante ausgeübte Druck nur einem Teile der ursprünglichen Kraft gleichkommt, der andere Teil dient zur Bewegung des Würfels längs der Kante. Eine Kraft übt nur dann ihre ganze Wirkung gegen eine Fläche aus, wenn sie rechtwinklig zur Fläche angreift. **Eine Fläche nimmt von einer schief gegen sie drückenden Kraft nur die zur Fläche rechtwinklige Seitenkraft auf.** Diese Seitenkraft wirkt bewegend, wenn der Körper frei beweglich ist.

2. Durch die wagerechte Bewegung des Windes wird das Emporsteigen des **Papierdrachen** (Fig. 135) hervorgebracht. Die Strecke AB stelle Stärke und Richtung des Windes dar; seine Kraft sei so groſs, daſs er bei lotrechter Stellung des Drachen den Punkt A in einer Sekunde nach B bewegen würde. Soll der Drache steigen, so muſs er schräg hängen. Die den Drachen schräg treffende Kraft AB des Windes zerlegt sich in die Seitenkraft $A\,1$, die parallel zum Drachen wirkungslos abgleitet, und in die Seitenkraft $A\,2$, rechtwinklig zur Papierfläche. Die Seitenkraft $A\,2$ vereinigt sich mit der Zugkraft $A\,3$ des Fadens zu der Mittelkraft AC, die den Drachen emportreibt.

Fig. 135.

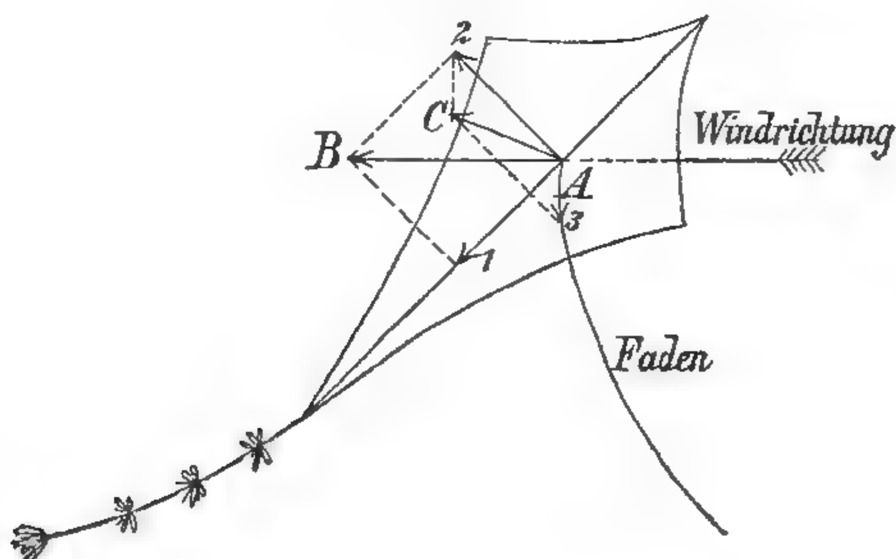
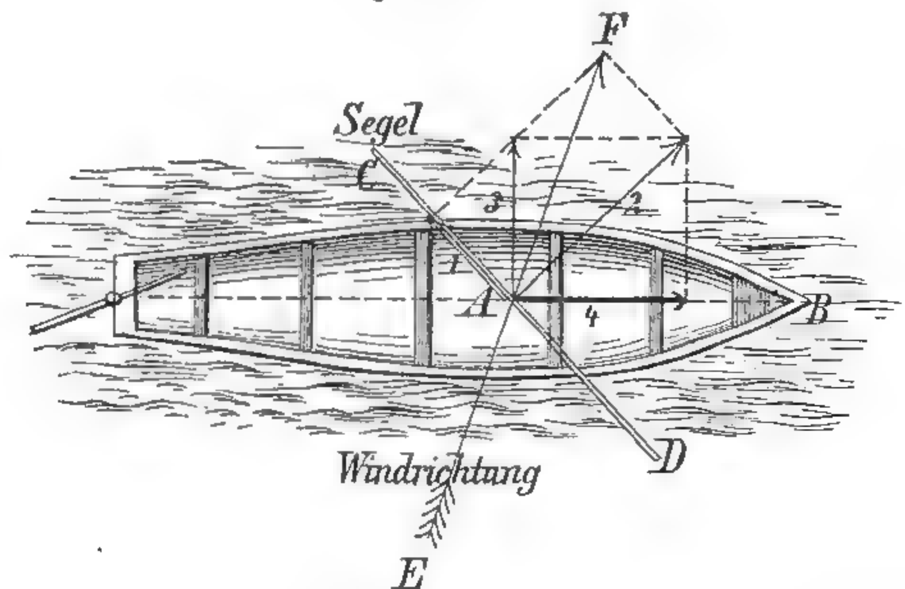
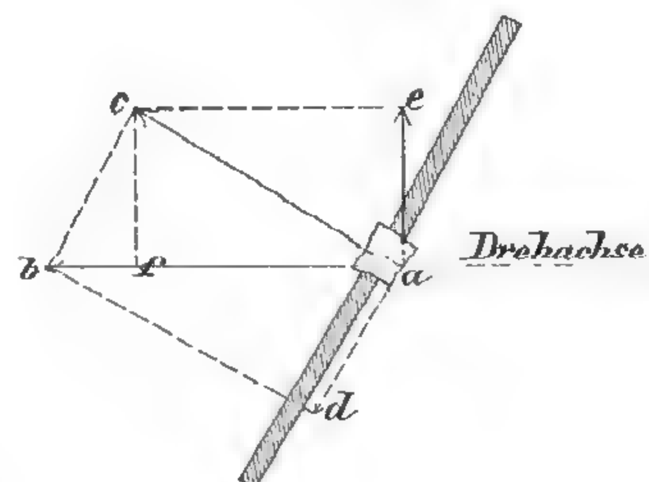


Fig. 136.



3. **Das Segel eines Schiffes** wird schief gegen die Richtung des von der Seite her wehenden Windes gestellt, damit das Fahrzeug vorwärts kommt. AB (Fig. 136) sei die Richtung, welche der Kiel des Schiffes hat, und welche es einschlagen soll, EF die Richtung des Windes, CD die Stellung des Segels. Die Kraft des Windes $EA = AF$ läſst sich, da sie das Segel schiefwinklig trifft, in zwei Seitenkräfte zerlegen; die eine Nr. 1 ist gleichlaufend mit der Fläche des Segels und bleibt erfolglos, wogegen die Seitenkraft Nr. 2 rechtwinklig gegen das Segel gerichtet ist. In dieser Richtung kann sie aber das Schiff nicht bewegen, weil sie den Kiel seitwärts zu bewegen sucht, das Fahrzeug aber so gebaut ist, daſs das Wasser der Bewegung nach der Seite einen groſsen Widerstand leistet. Der wirksame Rest der ursprünglichen Kraft, der in der Richtung Nr. 2 schräg gegen die Richtung AB des Kieles angreift, zerlegt sich deshalb in eine rechtwinklig gegen den Kiel und die Seite des Fahrzeugs gerichtete Seitenkraft Nr. 3, welcher das Wasser Widerstand leistet, und eine mit dem Kiel gleichlaufende Kraft Nr. 4, die zur Wirksamkeit gelangt und das Schiff vorwärts bewegt.

Fig. 137.



4. Die **Windmühlenflügel** haben gegen den mit ihrer Achse parallel wehenden Wind eine schräge Stellung (Fig. 137). Die Kraft ab des Windes zerlegt sich in eine erfolglose, mit den Flügeln gleichlaufende ad und in eine zur Fläche derselben rechtwinklige Seitenkraft ac. Diese Seitenkraft ac wirkt schief gegen die Achse und zerlegt sich darum in eine erfolglose, mit der Achse parallele af und eine zur Achse rechtwinklige Kraft ae, welche die Umdrehung der Flügel ins Werk setzt.

d) Die der Schwerkraft entgegenwirkende Zentrifugalkraft.

§ 73. Erscheinungen der Zentralbewegung.

1. Wenn man eine Kugel, die von der Decke des Zimmers an einem Faden herabhängt, nach vorn zieht und ihr dann von der Seite her einen Stofs erteilt, so durchläuft die Kugel einen krummlinigen Weg um ihren Ruhepunkt, einen Kreis oder eine Ellipse. **Die Bewegung eines Körpers in einer krummlinigen Bahn um einen Punkt heifst Zentralbewegung.** Die Kugel müfste sich nach dem Beharrungsgesetz nach links, in der Linie *ab* (Fig. 138) bewegen, wird aber durch die Schwerkraft, die wie eine nach dem Mittelpunkte der Bahn gerichtete Kraft wirkt, von der geraden Linie abgelenkt. Das Bestreben, sich in geraden Linien *de*, *fg*, *hk*, *nm*, *op* weiterzubewegen, hat die Kugel in allen Teilen der Bahn, wird aber fortwährend durch die Schwerkraft abgelenkt. **Eine Zentralbewegung entsteht** daher **dadurch, dafs ein in Bewegung gesetzter Körper durch eine Kraft,** welche nach einem aufserhalb der ersten Bewegungsrichtung gelegenen Punkte gerichtet ist, **fortwährend von der geradlinigen Bahn abgelenkt wird. Der Punkt, nach welchem die ablenkende Kraft gerichtet ist, ist der Mittelpunkt oder das Zentrum der Bahn,** die ablenkende Kraft heifst daher **die Zentripetalkraft oder Zentralkraft.**

Fig. 138.

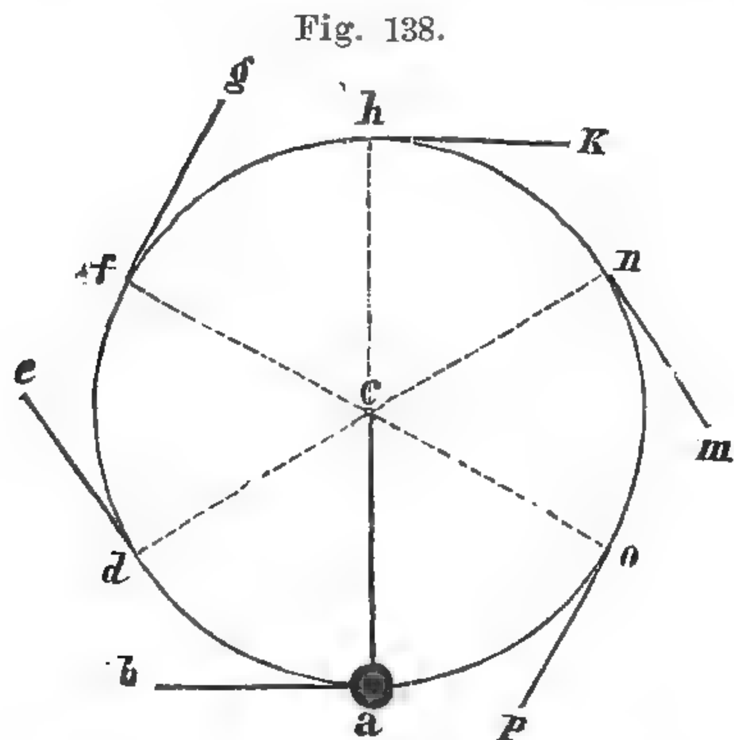
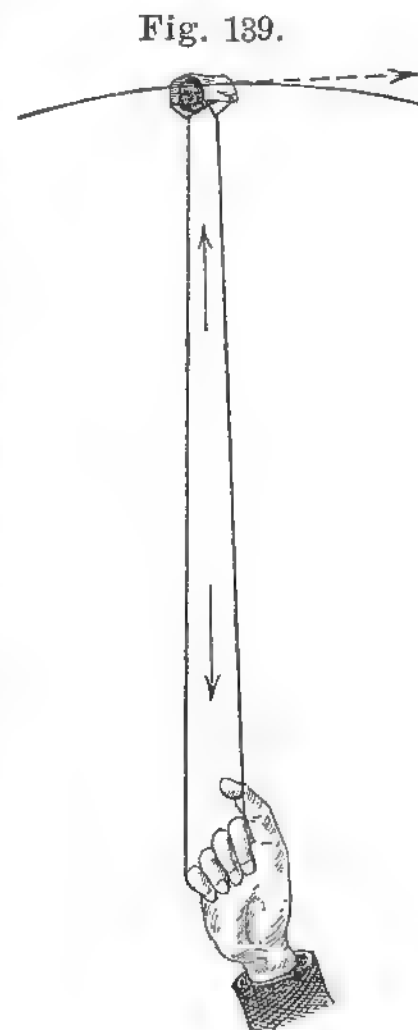


Fig. 139.



2. Läfst man einen in kreisförmige Zentralbewegung gesetzten Körper, den man an einem Faden festgehalten hat, los, so bewegt sich der Körper von der Bahn in der Richtung einer Tangente hinweg (Fig. 139); die Zentripetalkraft hat zu wirken aufgehört, und infolge des Beharrungsgesetzes behält der Körper die Bewegungsrichtung, die er in dem Punkte gerade hatte, und die durch die Richtung der Tangente bestimmt ist. Dasselbe geschieht bei schneller Bewegung mit dem an den Wagenrädern haftenden Sand und mit Wassertropfen an Schleifsteinen. **Hört die Zentripetalkraft auf zu wirken, so bewegt sich der in einer Zentralbewegung begriffene Körper in der Richtung einer Tangente von der Bahn hinweg.**

3. Solange man den Faden, an dem ein in Kreisbewegung gesetzter Körper befestigt ist, mit der Hand festhält, fühlt man, dafs die Kugel an dem Faden zieht. In jedem Punkte der Bahn hat derselbe nach dem Beharrungsgesetz das Bestreben, sich in der Richtung einer Tangente von der Bahn hinwegzubewegen und sich dadurch von dem Mittelpunkt der Bahn zu entfernen. **Jeder in Zentralbewegung befindliche Körper hat das Bestreben, sich vom Mittelpunkt der Bahn zu entfernen.** Dies Bestreben, welches aus dem in der Tangentenrichtung wirkenden Beharrungsvermögen oder der Beharrung in der Richtung hervorgeht, wird **die Zentrifugalkraft** oder **Schwungkraft** des Körpers genannt.

4. **Versuche über die kreisförmige Zentralbewegung** stellt man mit der Schwungmaschine oder Zentrifugalmaschine an (Fig. 140), bei welcher durch die

Umdrehung des grofsen Rades B mit Hilfe einer Schnur ohne Ende die kleine Scheibe D und mit dieser die lotrechte Achse AA in sehr schnelle Drehung versetzt werden kann. **Versuche:** a) Man schraubt den Rahmen G (Fig. 141) auf die Achse AA und stellt die mit einem Faden verbundenen und auf dem horizontalen Drahte leicht verschiebbaren, verschieden schweren Messingkugeln so, dafs der Faden gespannt ist und die Mitten der Messingkugeln *gleichen* Abstand von der lotrechten Drehachse haben. Schon bei mäfsiger Drehgeschwindigkeit bewegen sich beide Kugeln auf dem Drahte nach der Seite der gröfseren Kugel hin und schlagen an den Rahmen an. Beide Kugeln haben denselben Umdrehungshalbmesser gehabt und in gleicher Zeit gleich viel Umläufe gemacht; dabei hat die *schwerere* Kugel *die gröfsere Zentrifugalkraft* erlangt und daher die leichtere Kugel zur Seite gezogen. b) Die gröfsere Zentrifugalkraft, welche bei gleicher Umdrehungszahl und gleichem Umdrehungshalbmesser die schwerere Kugel gegenüber der leichteren besitzt, kann aber dadurch ausgeglichen werden, dafs man der leichteren Kugel einen *gröfseren Drehungshalbmesser* gibt. Ist die gröfsere Kugel 30 g, die kleinere 10 g schwer, und stellt man die Kugeln so, dafs die kleinere Kugel dreimal so weit von der Drehachse entfernt ist als die gröfsere Kugel (Fig. 142), so halten sich bei jeder Drehgeschwindigkeit die Zentrifugalkräfte beider Kugeln das Gleichgewicht. Wäre die leichtere Kugel nicht weiter von der Drehachse entfernt gewesen als die schwerere Kugel, so hätte die schwerere Kugel die gröfsere Zentrifugalkraft gehabt und hätte die leichtere Kugel zur Seite gezogen. Die Zentrifugalkraft der kleineren Kugel ist deshalb gröfser und so grofs wie die Zentrifugalkraft der gröfseren Kugel geworden, weil die kleinere Kugel einen *gröfseren Drehungshalbmesser* hatte. c) Verschiebt man beide Kugeln bei gespanntem Faden ein wenig aus der beim vorigen Versuch benutzten Lage, bei der sich die Zentrifugalkräfte das Gleichgewicht hielten, so mufs die Zentrifugalkraft *der* Kugel das Übergewicht erlangen, deren Umdrehungshalbmesser man vergröfsert hat. Die überwiegende Zentrifugalkraft setzt die beiden Kugeln aber erst dann in Bewegung, wenn die Umdrehungsgeschwindigkeit eine bestimmte Gröfse erreicht hat. Bei kleinerer Umdrehungsgeschwindigkeit war die Zentrifugalkraft zu klein, um die Reibung auf dem Gleitdrahte zu überwinden. Die Zentrifugalkraft ist also bei gleichem Umdrehungshalbmesser und gleichem Gewichte gröfser, wenn die *Umdrehungsgeschwindigkeit gröfser ist.* Aus diesen drei Versuchen ergibt sich das **Gesetz:** *Die Zentrifugalkraft ist desto gröfser, erstens, wenn bei gleichem Drehungshalbmesser und gleicher Anzahl der Umläufe das Gewicht gröfser ist, zweitens, wenn bei gleicher Umlaufszahl und gleichem Gewichte der Drehungshalbmesser gröfser ist, und drittens, wenn bei gleichem*

Fig. 140.

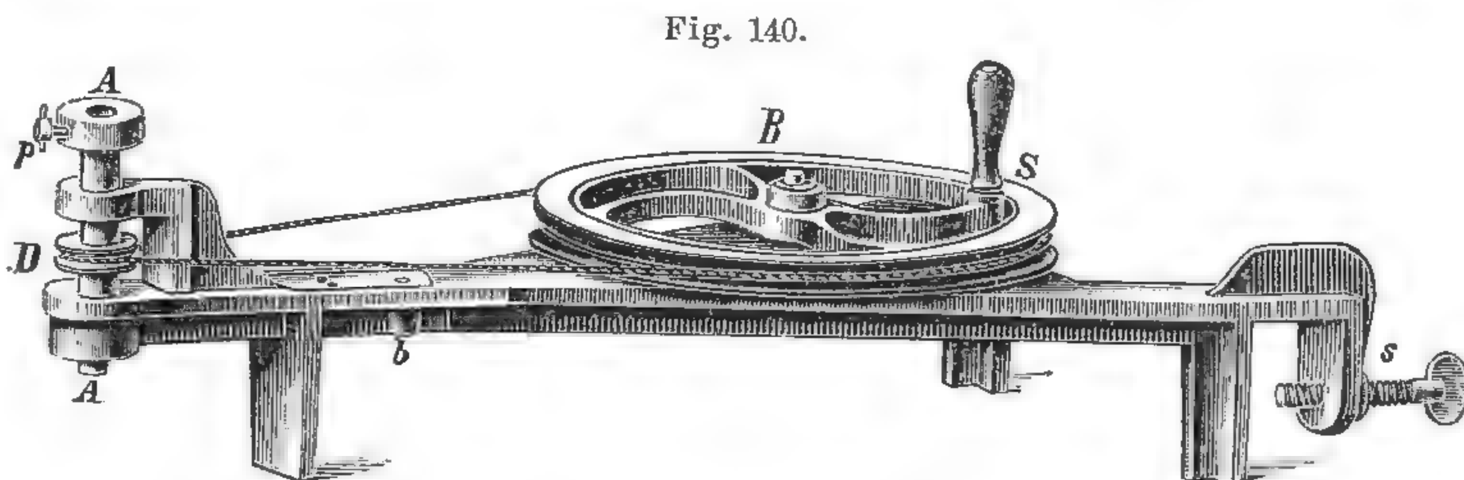


Fig. 141.

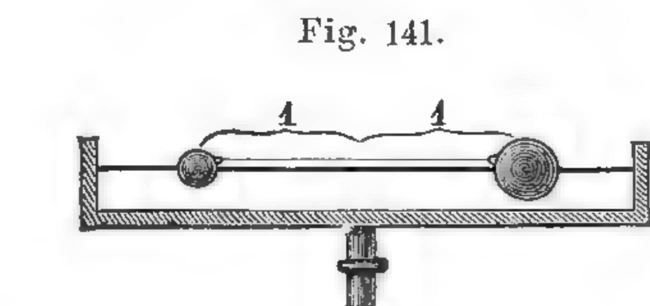
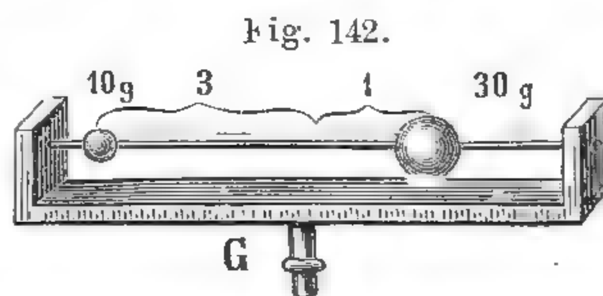


Fig. 142.



Drehungshalbmesser und gleichem Gewicht die Zahl der Umläufe oder die Umdrehungsgeschwindigkeit gröfser ist.

d) Setzt man die kreisförmigen, elastischen Metallreifen, die in Fig. 143 dargestellt sind, auf der Schwungmaschine in Umdrehung, so platten sich die Reifen infolge der Zentrifugalkraft an der Drehachse ab, und zwar um so stärker, je rascher gedreht wird. Der Versuch kann als ein Abbild der Abplattung betrachtet werden, welche unser Erdkörper infolge seiner Achsendrehung erlitten hat, als er sich noch in feurig-flüssigem Zustande befand.

5. **Anwendungen** der Zentrifugalkraft sind die Zentrifugal-Trockenmaschinen, Metallgefäfse mit siebartig durchbohrten Wänden, welche so schnell um ihre lotrechte Achse gedreht werden, dafs aus den hineingelegten nassen Zeugen das Wasser herausdringt, und die ähnlich eingerichteten Zentrifugen, mittels deren man aus den Waben den Honig herausschleudert, sowie der Zentrifugalregulator der Dampfmaschinen (Fig. 144). Bei zu raschem Gange der Maschine heben sich infolge der Zentrifugalkraft die beiden in Umdrehung befindlichen schweren Metallkugeln und nehmen die Hülse H mit in die Höhe. Eine Folge hiervon ist, dafs die die Dampfzuführung regelnde Drosselklappe oder eine andere Vorrichtung (§ 185) geschlossen und der der Maschine zuströmende Dampf abgesperrt wird; daher geht die Maschine wieder langsamer, Kugeln und Hülse senken sich, die Absperrung öffnet sich, und der Dampf kann wieder zutreten.

Fig. 143.

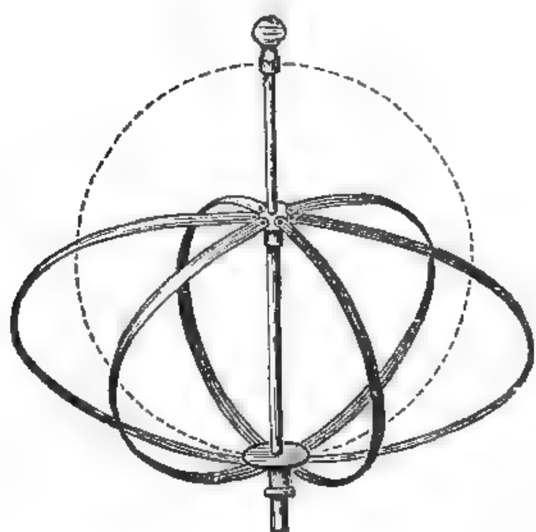
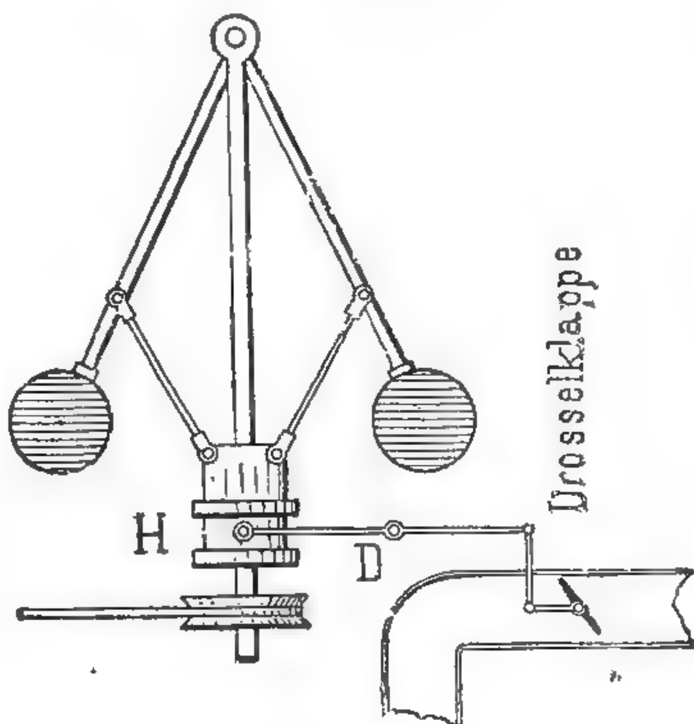


Fig. 144.



6. **Zentralbewegungen**, die sich zwar in Ellipsen, deren Gestalten aber nicht sehr von Kreisen abweichen, vollziehen, sind auch die Bewegungen der Planeten um die Sonne und der Monde um die Planeten. Seit den Zeiten des Ptolemäus (70—147 n. Chr.) hielt man die Erde für feststehend und nahm an, dafs Sonne und Himmelsgewölbe sich um die Erde bewegten. Nikolaus Kopernikus aus Thorn (1473—1543) stiefs das geozentrische Weltsystem des Ptolemäus um und ersetzte es durch das heliozentrische Weltsystem, indem er lehrte, dafs die Sonne stillstehe, die Planeten sich aber in Kreisen um die Sonne bewegten. Später stellte Johann Kepler aus Württemberg (1571—1630) die drei nach ihm benannten Gesetze auf: 1. Die Planetenbahnen sind Ellipsen, in deren einem Brennpunkt die Sonne steht. 2. Die Verbindungslinie eines Planetenmittelpunktes mit dem Sonnenmittelpunkt (Leitstrahl, Radius vector) überstreicht in gleichen Zeiten gleiche Flächen. 3. Die Quadratzahlen aus den Umlaufszeiten zweier Planeten verhalten sich zueinander wie die Kubikzahlen ihrer mittleren Entfernungen von der Sonne. Nach Kepler zeigte Isaak Newton (1642—1727), dafs die Keplerschen Planetengesetze eine notwendige Folge des von Newton gefundenen Massenanziehungsgesetzes oder Gravitationsgesetzes seien, wonach sich zwei Massen mit einer Kraft anziehen, die direkt proportional ist den Massen und umgekehrt proportional dem Quadrate der Entfernung der Massenmittelpunkte, einer Kraft, die sich uns alltäglich als Schwerkraft bemerkbar macht.

B. Wirkungen der Schwerkraft auf feste Körper.

§ 74. Die bedeutende Kohäsion fester Körper.

Die Schwerkraft äufsert die angegebenen Wirkungen auf feste, tropfbarflüssige und luftförmige Körper. Aber es gibt auch Erscheinungen, welche die Schwerkraft nur an festen oder nur an flüssigen und luftförmigen Körpern hervorbringt, weil nur die Eigentümlichkeiten dieser Körper sie zulassen.

Feste Körper sind solche, deren Teile mit bedeutender Kraft zusammenhängen, wie denn eine gröfsere Kraft nötig ist, um die Teile des Holzes oder Eisens voneinander zu trennen, und Werkzeuge zu Hilfe genommen werden, um diese Arbeit auszuführen. Die Anziehungskraft, mit der die Teile (oder Moleküle) eines und desselben Körpers aneinander festhalten, heifst **die Kraft des Zusammenhanges oder die Kohäsion.** Von dem Vorhandensein und der Stärke der Kohäsion hängt es ab, ob ein Körper sich in festem, tropfbarflüssigem oder luftförmigem Zustande befindet. Diese drei Zustände, in denen ein Körper, z. B. das Wasser, als Eis, als tropfbarflüssiges Wasser und als luftförmiger Wasserdampf vorkommen kann, heifsen **die drei Aggregatzustände der Körper.** Im festen Zustande haben die Körper eine bedeutende, im flüssigen eine sehr geringe Kohäsion; luftförmige Körper haben keine Kohäsion.

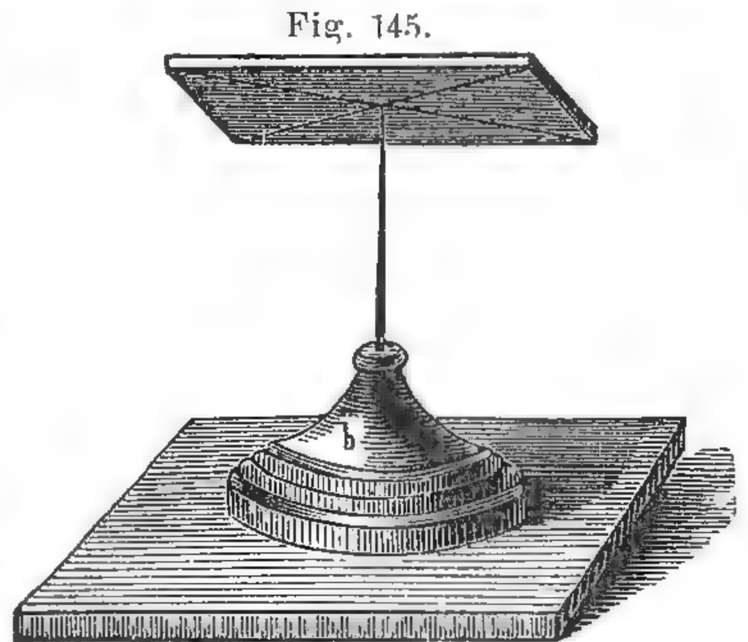
Wegen des festen Zusammenhanges ihrer Teile besitzen die festen Körper eine selbständige Gestalt; ferner brauchen sie nur in einzelnen Punkten unterstützt zu werden. Hierauf beruhen die Erscheinungen des Schwerpunktes des Hebels und des Pendels.

a) Der Schwerpunkt.

§ 75. Der Schwerpunkt und seine Lage.

1. **Der Schwerpunkt.** Alle Körper sind der Anziehung durch die Schwerkraft unterworfen. Damit ein Körper durch die Schwerkraft nicht bewegt wird, mufs er wenigstens in einem Punkte unterstützt werden. Einen Stab kann man so auf die Schneide eines Messers legen, dafs er nicht fällt. Auf eine lotrechte Tragspitze kann man eine Scheibe so legen, dafs dieselbe wagerecht schwebt und durch die Schwerkraft nicht bewegt wird (Fig. 145). Derjenige Punkt eines Körpers, welchen man unterstützen mufs, damit der Körper durch die Schwerkraft nicht bewegt wird, heifst **der Schwerpunkt des Körpers.** Legt man einen anderen Punkt der Scheibe auf die Tragspitze, so ist der Schwerpunkt nicht unterstützt, und die Scheibe fällt, bis der Schwerpunkt die möglichst tiefe Stelle einnimmt. **Wenn der Schwerpunkt eines Körpers unterstützt ist, so wird der Körper durch die Schwerkraft nicht aus der Ruhe gebracht.** Ist der Schwerpunkt nicht unterstützt, so wird der Körper durch die Schwerkraft bewegt. Das Verhalten eines Körpers der Schwerkraft gegenüber ist daher so, als wenn das ganze Gewicht des Körpers in seinem Schwerpunkt vereinigt wäre.

Fig. 145.

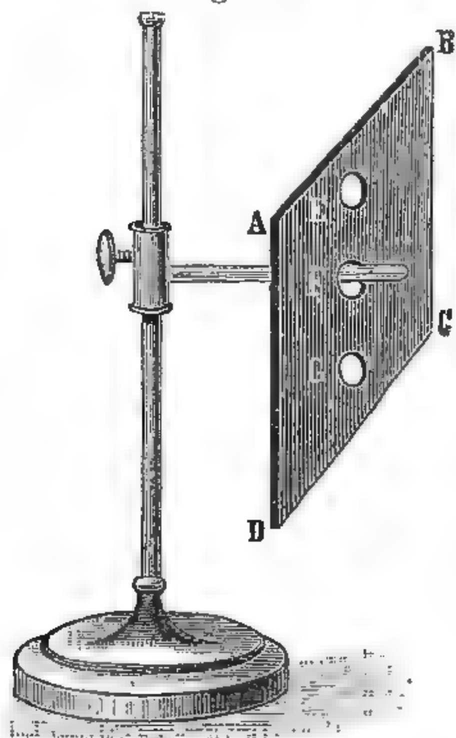


2. **Die Lage des Schwerpunktes.** Wenn eine Scheibe die Form eines Kreises oder eines Quadrates oder eines regelmäfsigen Vielecks hat, so liegt ihr Schwerpunkt in ihrem Mittelpunkt. Der Schwerpunkt eines Dreiecks liegt im Schnittpunkte der drei Mittellinien, der eines Parallelogramms im Schnittpunkte der Diagonalen. Der Schwerpunkt einer Kugel liegt in ihrem Mittelpunkte, der einer Walze im Mittelpunkt ihrer Achse. Der Schwerpunkt regelmäfsig gestalteter Körper, deren Teile sämtlich aus gleichartigem Stoffe bestehen, liegt im Mittelpunkt der Körper. Der Schwerpunkt eines Hammers liegt nicht in der Mitte seines Stieles, sondern in dem Eisen oder in dessen Nähe. Wenn zwei Körper von sehr verschiedenem Gewicht aneinander befestigt sind, so liegt der Schwerpunkt des Ganzen in dem schwereren Körper oder in dessen Nähe.

§ 76. Die Arten der Ruhe oder des Gleichgewichtes.

1. **Die stabile Ruhe** (oder das stabile Gleichgewicht). Eine im Schwerpunkte F (Fig. 146) und je in einem lotrecht darüber und darunter gelegenen Punkte E bez. G durchbohrte Scheibe schiebt man zuerst mit der oberen Durchbohrung leicht drehbar auf einen wagerechten Draht. Dieselbe kommt in bestimmter Lage zur Ruhe. Bringt man sie durch Verschieben ein wenig aus ihrer Ruhelage, so kehrt sie in dieselbe zurück. Die Ruhe heifst **stabile oder sichere Ruhe,** wenn ein Körper, der ein wenig aus seiner Ruhelage gebracht ist, in dieselbe zurückkehrt. Befindet sich die Scheibe in der Ruhelage, so liegt der Schwerpunkt lotrecht unter dem Unterstützungspunkt und nimmt die möglichst tiefe Stelle ein. Bringt man die Scheibe aus ihrer Ruhelage, so steigt der Schwerpunkt, liegt aber nicht mehr lotrecht unter dem Unterstützungspunkt; weil er aber dann nicht mehr unterstützt ist, mufs er sinken, bis er wieder die tiefste Stelle einnimmt. **Stabile oder sichere Ruhe ist vorhanden, wenn der Schwerpunkt eines Körpers lotrecht unter dem Unterstützungspunkt liegt, oder wenn der Schwerpunkt die möglichst tiefe Stelle einnimmt.**

Fig. 146.



2. **Die labile Ruhe.** Schiebt man die unter dem Schwerpunkt gelegene Durchbohrung der Scheibe auf einen wagerechten Draht so, dafs der Schwerpunkt sich genau lotrecht über dem Unterstützungspunkt befindet, so ist die Scheibe ebenfalls in Ruhe. Aber eine geringe Verschiebung hat die Folge, dafs die Scheibe in eine andere Lage übergeht und nicht in die Ruhelage zurückkehrt. Die Ruhe heifst **labile oder unsichere Ruhe,** wenn ein Körper, der ein wenig aus der Ruhelage gebracht ist, nicht in dieselbe zurückkehrt, sondern in eine andere Lage übergeht. In der Ruhelage, welche man der Scheibe gegeben hatte, lag der Schwerpunkt lotrecht über dem Unterstützungspunkte. Bringt man die Scheibe aus dieser Ruhelage, so sinkt der Schwerpunkt, der die höchste Lage hatte; weil er nicht mehr unterstützt ist, nimmt er eine immer tiefere Stelle ein, bis die Lage der Scheibe eine ganz andere ist. **Labile oder unsichere Ruhe ist vorhanden, wenn der Schwerpunkt eines Körpers lotrecht über seinem Unterstützungspunkte liegt, oder wenn der Schwerpunkt bei einer Drehung des Körpers eine tiefere Stelle einnimmt.**

3. **Die indifferente Ruhe.** Man schiebt den Schwerpunkt der Scheibe auf den Draht. Dann fallen Schwerpunkt und Unterstützungspunkt zusammen, und die Scheibe bleibt in jeder Lage, die man ihr gibt, in Ruhe. **Indifferent** heifst **die Ruhe,** wenn ein Körper in jeder Lage, die man ihm gibt, in Ruhe bleibt. Der Schwerpunkt der Scheibe liegt im Unterstützungspunkt. **Indifferente Ruhe ist vorhanden, wenn der Schwerpunkt eines Körpers in seinem Unterstützungspunkt liegt, oder wenn der Schwerpunkt bei einer Drehung des Körpers weder steigt noch fällt.** In indifferentem Gleichgewicht sind Maschinenräder, Schleifsteine, die grofsen Fernrohre, auch Kugeln und Walzen, die auf einer horizontalen Ebene liegen.

§ 77. Unterstützung des Schwerpunktes durch Aufhängen und Balancieren.

1. **Hängende Körper befinden sich in stabilem Gleichgewicht.** Der Schwerpunkt eines ruhig hängenden Körpers liegt lotrecht unter seinem Unterstützungs- oder Aufhängepunkte. Man kann daher durch Aufhängen den Schwerpunkt einer Scheibe von beliebiger Form

finden (Fig. 147, 148); man hängt sie erst an einem Punkte A, dann an einem anderen Punkte B auf, hält ein Lot an diese Punkte und zieht durch dieselben auf der Scheibe je eine lotrechte Linie, (die Falllinie); der Schwerpunkt S mufs in beiden Linien also da liegen, wo sich beide durchschneiden. Das Gehäuse G **des Schiffskompasses** (Fig. 149) ist unten mit Blei ausgegossen, damit sein

Fig. 147.

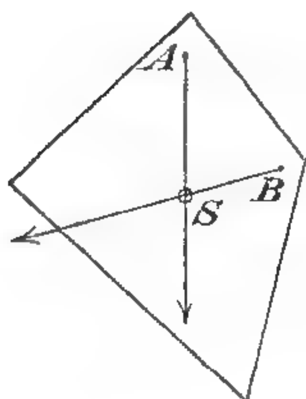


Fig. 148.

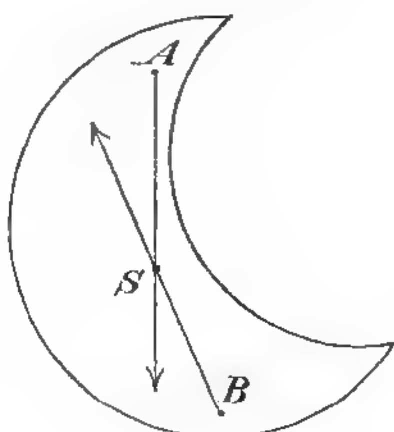
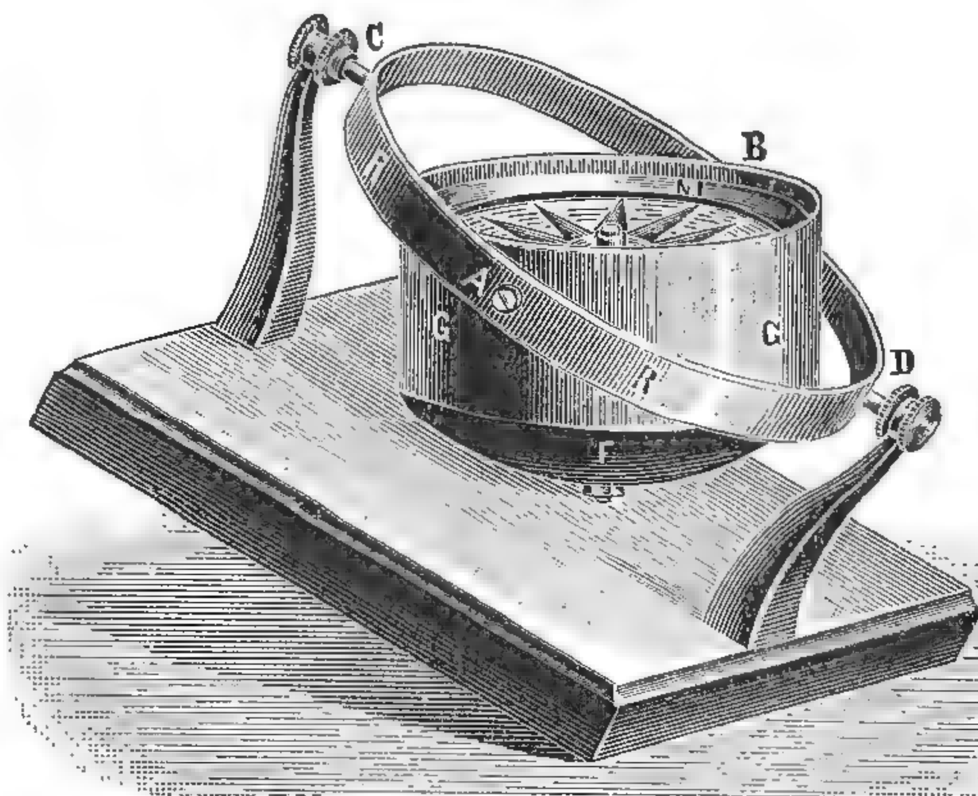


Fig. 149.



Schwerpunkt tief liegt, und hängt, um eine (in der Ruhelage) wagerechte Achse AB drehbar, in einem Ringe R. Der Ring aber ist ebenfalls um eine Achse CD drehbar, welche mit der Achse AB rechte Winkel bildet. Hebt sich die linke oder rechte Seite des Schiffes, so kann sich das Gehäuse um die Achse AB drehen, welche mit dem Kiel gleiche Richtung hat. Hebt sich das Vorderteil oder der Spiegel des Schiffes, so kann sich der Ring um die Achse CD bewegen. Durch diese Cardanische Aufhängung wird erreicht, dafs das Kompafsgehäuse bei allen Schwankungen des Schiffes seine lotrechte Stellung sicher beibehält.

2. **Ein Gegenstand** dagegen, **den man** (auf einem Punkte der Hand) **balanciert, befindet sich in labilem Gleichgewicht.** Sein Schwerpunkt mufs stets lotrecht über seinem Unterstützungspunkt liegen. Ist der Gegenstand im Begriff zu fallen, so mufs man den Unterstützungspunkt immer wieder unter den Schwerpunkt schieben. Am leichtesten lassen sich schwere und hohe Körper balancieren; schwere, weil man an ihnen leichter jede Bewegung des Schwerpunktes fühlt, und hohe, weil ihr Schwerpunkt beim Fallen einen gröfseren Weg durchläuft und Zeit genug läfst, um den Unterstützungspunkt wieder unter den Schwerpunkt zu schieben.

§ 78. Unterstützung des Schwerpunktes durch eine Fläche.

1. Der Schwerpunkt aufgestellter Körper liegt höher als ihre Unterstützung; damit sie eine hinreichende Standfestigkeit oder Stabilität haben, müssen sie in mehreren Punkten unterstützt werden. Verbindet man die Punkte, wo die Stützen, z. B. die vier Füfse eines Tisches, auf der horizontalen Fläche stehen, durch gerade Linien, so heifst die von den Verbindungslinien der Stützpunkte umgrenzte wagerechte Fläche **die Unterstützungsfläche.**

Jeder Körper bleibt so lange ruhig stehen, als sein Schwerpunkt lotrecht über seiner Unterstützungsfläche liegt.

Daher kann eine Säule oder Mauer schief stehen, ohne umzufallen; Felsblöcke können überhängen. Zu Pisa und Bologna gibt es schiefe Türme, die

noch feststehen. — Eine durch den Schwerpunkt s (Fig. 150) eines Körpers gezogene lotrechte Linie heifst die Fall-Linie oder die Richtungslinie der Schwere. Ein Körper A bleibt ruhig stehen, wenn die Fall-Linie einen Punkt c seiner Unterstützungsfläche trifft. Ein Körper B fällt um, wenn die Fall-Linie einen aufserhalb der Unterstützungsfläche gelegenen Punkt d der horizontalen Ebene trifft.

2. Ein mit Wasser gefülltes Glas steht fester als ein leeres; eine steinerne Säule läfst sich schwerer umwerfen als eine hölzerne. Ein Buch liegt

Fig. 150.

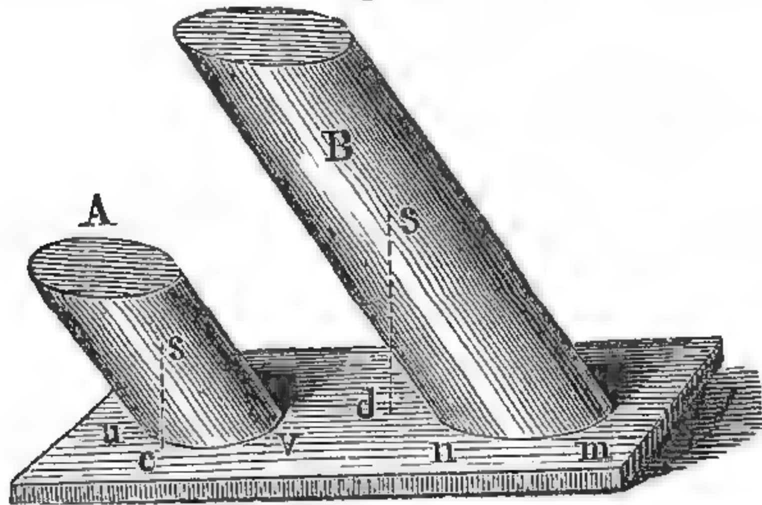
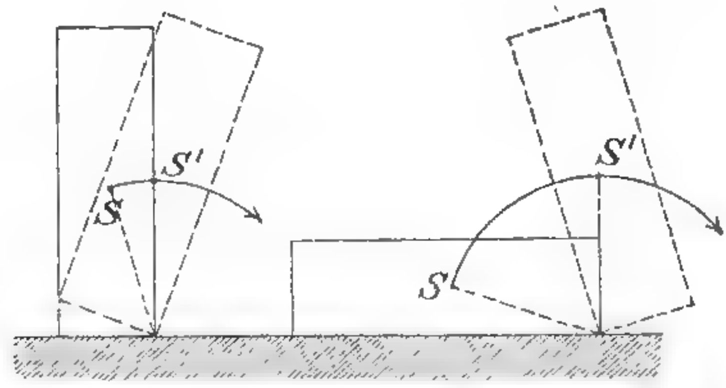


Fig. 151.



sicherer auf einer seiner breiten Flächen, während es bei aufrechter Stellung weniger sicher steht (Fig. 151); eine umgekehrte Flasche fällt leichter um als eine auf ihrem Boden stehende.

Je gröfser das Gewicht und die Unterstützungsfläche eines Körpers ist, und je tiefer sein Schwerpunkt liegt, desto fester steht der Körper.

Um hinreichende Standfestigkeit zu erzielen, werden die Fufsgestelle von hohen Leuchtern möglichst schwer gearbeitet, die Dampfkessel der Lokomotiven tief gelegt und die Lasten auf einen hoch zu beladenden Wagen so verteilt, dafs die schwersten unten liegen.

§ 79. Unterstützung des Schwerpunktes lebender Wesen.

Lebende Wesen können durch Bewegung der Glieder die Lage ihres Schwerpunktes ändern. Ein Gärtner, welcher eine volle Giefskanne mit der linken Hand hält, beugt sich nach der rechten Seite; sonst würde der gemeinsame Schwerpunkt des menschlichen Körpers und der Last zu weit links liegen und nicht unterstützt sein; deshalb mufs der Schwerpunkt nach rechts verschoben werden. Wer dagegen in der rechten Hand eine Last hält, beugt sich nach links oder streckt den linken Arm aus. Ein Turner, welcher schwere Eisenstücke mit den Händen vor sich hält, beugt sich rückwärts; sonst würde der gemeinsame Schwerpunkt des menschlichen Körpers und des Eisens nicht lotrecht über der Unterstützungsfläche, sondern zu weit vorn liegen. Beim Bergabsteigen beugt man sich rückwärts, weil sonst die Fall-Linie nicht die Unterstützungsfläche, sondern einen vor ihr liegenden Punkt des Erdbodens treffen würde; beim Bergansteigen dagegen neigt man sich nach vorn. Die Seiltänzerkünste erfordern ein feines Gefühl vom Schwerpunkte des Körpers und eine Geschicklichkeit, ihn über einer schmalen Unterstützungsfläche zu erhalten, was durch Verschieben der Balancierstange erleichtert wird. Auch die auf einem Zweirad Fahrenden haben eine ungewöhnlich schmale Unterstützungsfläche.

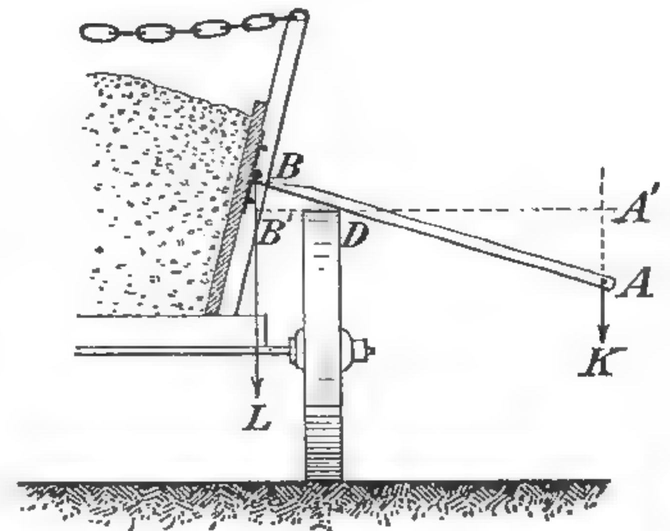
b) Der Hebel.

§ 80. Der zweiarmige Hebel.

I. Will ein Fuhrmann die Seitenplanke seines Wagens heben, so bedient er sich eines Hebels. Er legt eine Stange AB (Fig. 152) so auf das Rad, dafs sie im

Punkte D unterstützt ist und um diesen Punkt gedreht werden kann. Ein **Hebel** ist eine um einen festen Punkt drehbare Stange. Der feste Punkt heist der Drehpunkt. Die Planke mit der darüber befindlichen Ladung stellt eine Last dar, welche durch den Hebel gehoben werden soll, und die auf das eine Ende B des Hebels nach unten drückt. Um die Last zu heben, drückt der Fuhrmann am anderen Ende A des Hebels mit einer gewissen Kraft ebenfalls nach unten. An einem Hebel wirken daher zwei Kräfte, von denen die eine die **Last** (L) und die andere die **Kraft** (K) heifst. Kraft und Last wirken beim zweiarmigen Hebel nach gleicher Richtung. Die Punkte B und A des Hebels, an welchen die Last und die Kraft angreifen, heifsen Angriffspunkt der Last und Angriffspunkt der Kraft. Die lotrechte Entfernung des Drehpunktes von der Richtung der Last (DB') heifst **der Hebelarm der Last** oder der **Lastarm**; die lotrechte Entfernung des Drehpunktes von der Richtung der Kraft (DA') ist **der Hebelarm der Kraft** oder **der Kraftarm**. Ein Hebel, dessen Drehpunkt zwischen den Angriffspunkten der Last und der Kraft liegt, wird ein **zweiarmiger Hebel** genannt. Sind die Hebelarme eines zweiarmigen Hebels gleich lang, so heifst der Hebel gleicharmig, im anderen Falle heifst er ungleicharmig (Fig. 152).

Fig. 152.

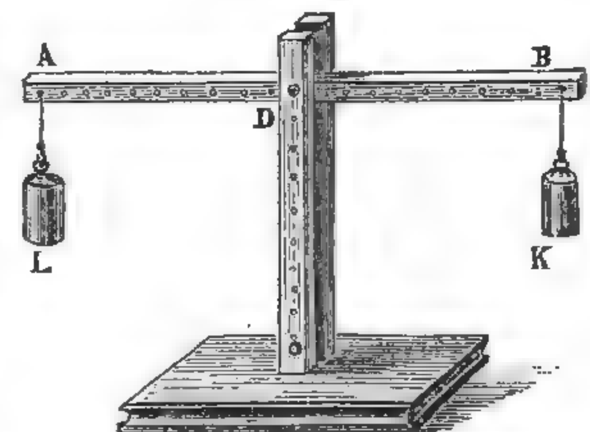


II. **Der Hebel mit zwei gleichen Armen.** 1. Eine überall gleich dicke, vierkantige Holzstange hat ihren Schwerpunkt genau in der Mitte. Wird die wagerecht liegende Stange unmittelbar über ihrem Schwerpunkt durchbohrt und auf einen wagerechten Stift gesteckt, so ist sie für sich in sicherem Gleichgewicht, wenn sie wagerecht hängt. Diese Stange stellt einen zweiarmigen Hebel dar.

Als Kraft und Last dienen Gewichtstücke, die mit Fäden an die Stange angehängt werden; Kraft und Last wirken daher lotrecht nach unten. Ist der Hebel unter dem Einflusse solcher Gewichtstücke im Gleichgewicht, so entfernt er sich nicht aus seiner stabilen Ruhelage, bleibt also wagerecht. Daher sind die zwischen dem Drehpunkt und den Anhängepunkten der Gewichte befindlichen Teile des Hebels als Hebelarme zu betrachten, denn sie fallen mit den lotrechten Entfernungen des Drehpunktes von den Richtungen von Kraft und Last zusammen.

Hängt man an das Ende A eine Last von 1 kg (Fig. 153), so wird das andere Ende B mit einer Kraft von 1 kg aufwärts bewegt. Hängt man an das Ende B auch 1 kg, so stellt sich der Hebel wagerecht, und die Kraft hält der Last das Gleichgewicht. Um die Last emporzuheben, mufs die Kraft etwas gröfser sein als die Last.

Fig. 153.



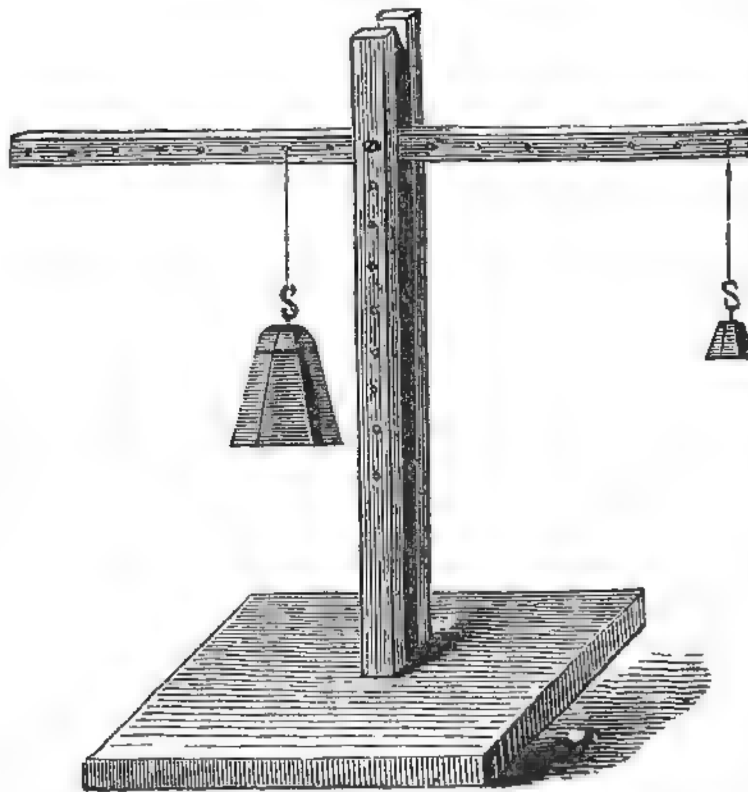
2. Läfst man eine Kraft und eine ebenso grofse Last an anderen Punkten des Hebels angreifen, beide gleich weit, etwa 40 oder 30 oder 20 cm vom Drehpunkte entfernt, so erhält man andere gleicharmige Hebel. Aus Versuchen mit denselben ergibt sich das Gesetz: **Der gleicharmige Hebel ist im Gleichgewicht, wenn Kraft und Last einander gleich sind.**

Die Gleichgewichtsbedingung am gleicharmigen Hebel lautet: Kraft = Last.

3. Bewegt sich mit Hilfe eines gleicharmigen Hebels eine Last nach oben, so mufs sich gleichzeitig die gleiche Kraft nach unten bewegen. Da die Kraft gleich der Last und der Kraftweg gleich dem Lastweg ist, so wird durch den gleicharmigen Hebel weder ein mechanischer Vorteil noch ein mechanischer Nachteil, sondern lediglich eine Änderung der Kraftrichtung erzeugt. Der gleicharmige Hebel heifst daher auch **Richtungshebel.**

III. Der Hebel mit zwei ungleichen Armen. 1. Hängt man an die Arme des zweiarmigen Hebels Gewichte in ungleichen Entfernungen vom Drehpunkte, so hat man einen ungleicharmigen Hebel (Fig. 154). Am ungleicharmigen Hebel tritt Gleichgewicht ein bei folgenden Versuchen: a) an einen 1 cm langen Hebelarm hängt man als Last 2 kg, und an den anderen, 2 cm langen Arm als Kraft 1 kg. b) An einem 2 cm langen Hebelarm wirkt eine Last von 3 kg, und an dem anderen, 3 cm langen Arm eine Kraft von 2 kg. c) An einem 3 cm langen Hebelarm greift eine Last von 4 kg an, und an dem anderen, 4 cm langen Arm eine Kraft von 3 kg. — Bei dem ersten Versuch ist der Hebelarm der Kraft 2 cm lang, und der Arm der Last 1 cm; die Arme verhalten sich wie 2 zu 1. Dagegen beträgt die Kraft 1 kg, die Last 2 kg, sie verhalten sich wie 1 zu 2. Beim zweiten Versuche beträgt der Kraftarm 3 cm, und der Lastarm 2 cm; sie verhalten sich wie 3 zu 2. Dagegen verhält sich die Kraft von 2 kg zu der Last von 3 kg wie 2 zu 3. Beim dritten Versuch ist der Kraftarm 4 cm lang, und der der Last 3 cm; sie verhalten sich wie 4 zu 3. Umgekehrt verhält sich wieder die Kraft (3 kg) zur Last (4 kg), nämlich wie 3 zu 4. In allen diesen Fällen ist Gleichgewicht eingetreten. Daraus ergibt sich das Gesetz: **Der ungleicharmige Hebel ist im Gleichgewicht, wenn Kraft und Last sich umgekehrt verhalten wie ihre Hebelarme.**

Fig. 154.



Die Gleichgewichtsbedingung für den ungleicharmigen Hebel ist:

$$\frac{\text{Kraft}}{\text{Last}} = \frac{\text{Lastarm}}{\text{Kraftarm}}; \text{ also: Kraft} = \text{Last} \times \frac{\text{Lastarm}}{\text{Kraftarm}}.$$

Je länger der Hebelarm der Kraft ist, desto kleiner ist die nötige Kraft, und je kleiner die Kraft ist, desto länger mufs ihr Hebelarm sein, wenn Gleichgewicht sein soll.

2. Das Gesetz läfst sich auch anders ausdrücken. Beim ersten Versuch ist die Kraft 1 kg, der Kraftarm 2 cm. Multipliziert man beide Angaben ohne die Benennungen, so erhält man als Produkt aus der Kraft mit ihrem Hebelarm $1 \times 2 = 2$. Multipliziert man die Last von 2 kg mit dem Lastarm 1 cm, so erhält man als Produkt aus der Last mit ihrem Hebelarm $2 \times 1 = 2$. Das Produkt aus der Kraft mit ihrem Hebelarm heifst das statische Moment der Kraft, und das Produkt aus der Last mit ihrem Hebelarm das statische Moment der Last. Beim ersten Versuch sind beide Momente $= 2$; beim zweiten Versuche sind beide $= 6$; beim dritten sind beide $= 12$. Die statischen Momente sind gleich, daher tritt Gleichgewicht ein. Daraus folgt das Hebelgesetz:

Der ungleicharmige Hebel ist im Gleichgewicht, wenn das statische Moment der Kraft dem statischen Moment der Last gleich ist. Oder: Es herrscht Gleichgewicht am Hebel, wenn ist **Kraft × Kraftarm = Last × Lastarm.**

3. Einer Last von 5 kg an einem 3 cm langen Hebelarm hält eine Kraft von 3 kg an einem 5 cm langen Arm das Gleichgewicht. Denn die Momente 5×3 und 3×5 sind gleich. Bewegt man nun mit der Hand die Kraft 10 cm (0,10 m) abwärts, so durchläuft, wie man an einem Mafsstab sehen kann, die Last einen Weg von 6 cm (0,06 m). Die Arbeit der Kraft beträgt $3 \times 0{,}10 = 0{,}30$ Meter-Kilogramm. Die Arbeit der Last beträgt $5 \times 0{,}06 = 0{,}30$ Meter-Kilogramm. Die Arbeit der Kraft ist gleich der Arbeit der Last. Wenn an einem Hebel die

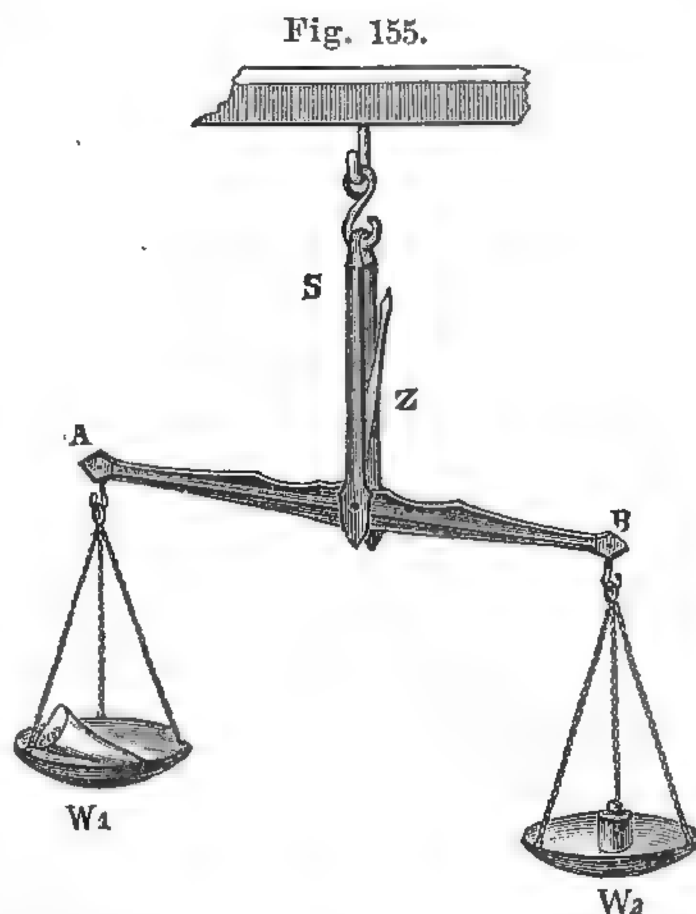
Momente gleich sind, dann ist auch bei Herbeiführung der Bewegung die Arbeit der Kraft gleich der Arbeit der Last. An einer Maschine tritt aber das Gleichgewicht ein, wenn (bei herbeigeführter Bewegung) die Arbeit der Kraft ebenso grofs ist wie die Arbeit der Last.

An Arbeit wird daher durch einen Hebel nichts gespart. Wohl aber kann durch Anwendung eines Hebels an Kraft gespart werden. Wenn der Hebelarm der Kraft zehnmal so lang ist als der Arm der Last, so ist die erforderliche Kraft dem zehnten Teil der Last gleich. Dagegen ist der Weg der Last nur der zehnte Teil vom Wege der Kraft, und den wievielten Teil der Last die Kraft beträgt, sovielmal so lang wird nach der goldenen Regel der Weg der Kraft gegen den Weg der Last.

§ 81. Anwendungen des zweiarmigen Hebels.

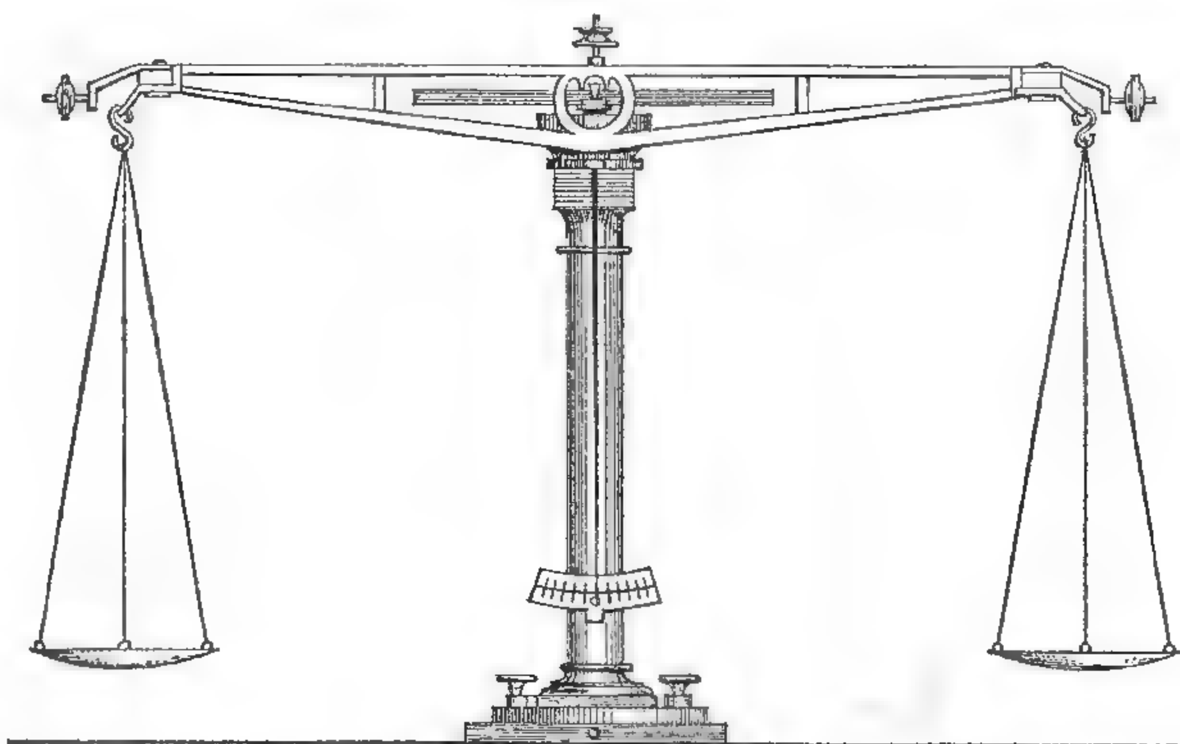
1. Die Hauptanwendung des Hebels mit zwei gleichen Armen ist die **gleicharmige Wage** oder Krämerwage; der Hebel ist der Wagebalken *AB* (Fig. 155), dessen Achse, um die Reibung zu verringern, nach unten zu eine Schneide bildet und von einem gabelförmigen Metallstab, der Schere *S*, getragen wird. Die oben an dem Wagebalken in der Mitte seiner Länge befestigte Zunge *Z* ist lotrecht, wenn der Wagebalken sich im Gleichgewicht befindet und wagerecht liegt. Die hängende Schere gibt die lotrechte Richtung an. Schwebt die Zunge genau in der Mitte der Schere, so hat sie lotrechte Stellung, der Wagebalken wagerechte Stellung, und die Wagschalen sind im Gleichgewicht. Dieser Fall tritt ein, wenn man in die Wagschalen w_1 und w_2 gleiche Gewichte legt. Legt man aber in die eine Wagschale ein Übergewicht, so sinkt die mehr belastete Schale; der Wagebalken stellt sich schräg, und die Zunge zeigt das Übergewicht durch einen Ausschlag an.

Fig. 155.



Die Wagen, die der Physiker, Chemiker, Apotheker braucht, hängen statt an einer Schere auf einer Säule aus Messing, und das Gleichgewicht wird durch eine lotrecht zum Wagebalken stehende lange Zunge angegeben, die nach unten gerichtet ist und auf einer gewöhnlich in Millimeter geteilten Skala spielt (Fig. 156). Der mittelste Teilstrich ist mit Null bezeichnet; die Einstellung der Zunge auf diesen Strich gibt bei richtiger Aufstellung der Wage das Gleichgewicht an.

Fig. 156.



Die Wage mufs **erstens richtig** sein; dazu ist nötig: 1. Beide Hebelarme müssen gleich lang sein, weil die Wage sonst kein gleicharmiger Hebel ist und durch gleiche Belastungen auf beiden Seiten nicht ins Gleichgewicht käme. Um zu prüfen, ob dies der Fall ist, legt man in

die eine Schale Gewichte und in die andere so viel Schrotkörner, dafs der Wagebalken horizontale Stellung annimmt; vertauscht man beide Schalen samt ihrer Belastung, so mufs wieder Gleichgewicht sein; erhält ein Arm Übergewicht, so ist er zu lang. 2. Die Aufhängepunkte der Schalen und der Drehpunkt des Wagebalkens sollen in einer geraden Linie liegen, wie das für einen geraden zweiarmigen Hebel erforderlich ist. 3. Sowohl die beiden Wagschalen samt ihren Ketten oder Schnüren als auch die beiden Arme müssen gleiches Gewicht haben. Wenn man beide Wagschalen abnimmt, so mufs der Wagebalken sich wagerecht stellen. Dies wird erreicht, wenn der Schwerpunkt S des Wagebalkens senkrecht unter der Mitte der Verbindungslinie AB der Aufhängepunkte liegt (Fig. 157). Die Mitte dieser Verbindungslinie ist der Drehpunkt D. Der Wagebalken ist für sich in der stabilen Ruhelage, wenn sich der Schwerpunkt S lotrecht unter den Drehpunkt D einstellt; dann liegt aber die Verbindungslinie AB der Aufhängepunkte, also der Wagebalken, wagerecht (Fig. 158). 4. Der Wagebalken mufs stark genug sein; biegt er sich, so kann der eine Arm kürzer werden als der andere, und aufserdem liegen der Drehpunkt und die Aufhängepunkte der Schalen nicht mehr in einer geraden Linie. Die Wage mufs **zweitens** für ihren Zweck **empfindlich** genug sein; wenn sie vollständig belastet ist, mufs sie selbst bei einem kleinen Übergewicht einen Ausschlag geben*). Die Empfindlichkeit einer Wage ist desto gröfser, je länger und leichter die Arme sind, weil sie dann durch ein kleines Gewicht leichter bewegt werden, und je geringer die Reibung an der Achse und den Aufhängepunkten ist. Die Wage ist desto empfindlicher, je näher der Schwerpunkt des Wagebalkens der Achse liegt, denn um so geringer ist die Arbeit, die ein auf einer Wagschale liegendes Übergewicht durch Hebung des Schwerpunktes, in dem man sich ja das Gewicht des Wagebalkens vereinigt denken kann, zu leisten hat. Der Wagebalken macht dann, bevor er zur Ruhe kommt, weite und langsame Schwingungen.

Fig. 157.

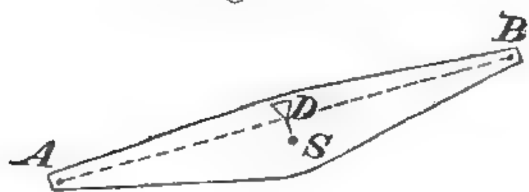
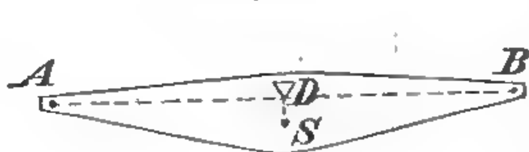
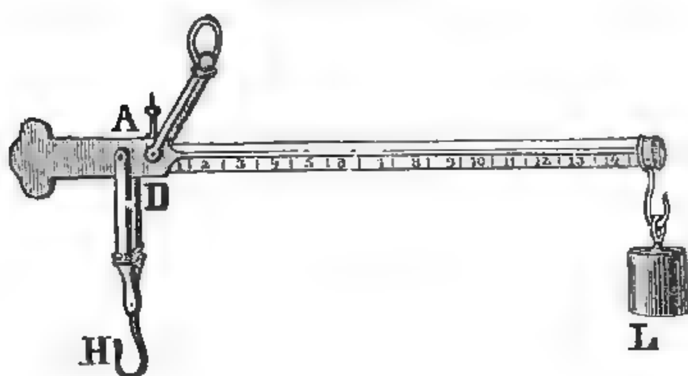


Fig. 158.



2. Anwendung des Hebels mit zwei ungleichen Armen. Als Hebel mit zwei ungleichen Armen wirkt der Hebebaum (Fig. 152). Andere Anwendungen sind die Pumpenschwengel an der Saugpumpe; der Spaten, dessen Drehpunkt beim Losbrechen einer Erdscholle an der Kante des noch festen Erdreichs liegt, die Türklinken, die Tasten am Klavier, Klappen an Flöten usw., Scheren und Zangen sind doppelte zweiarmige Hebel mit gemeinschaftlichem Drehpunkte und überwinden leicht den Widerstand, der sich dem kürzeren Arm entgegenstellt.

Fig. 159.



Die **Schnellwage** (Fig. 159) hat einen kürzeren Arm AD, an dem die Last am Haken H hängt, und

*) Ist eine Wage, ihrer gröfsten Tragkraft entsprechend, auf jeder Schale mit 5 kg belastet, und es erfolgt durch ein Übergewicht von 0,5 g auf einer Schale ein deutlicher Ausschlag der Zunge, so vermag die Wage, weil 0,5 g der 10000ste Teil von 5 kg oder 5000 g ist, noch 0,0001 des abzuwägenden Warengewichtes anzugeben. Man sagt dann: Die Empfindlichkeit der Wage beträgt 0,0001. Die Empfindlichkeit einer Wage ist der Wert eines Bruches, dessen Nenner die gröfste Belastung einer Schale und dessen Zähler das kleinste wirksame Übergewicht bildet. Bei Wagen, deren nach unten gehende Zunge auf einer Millimeterskala spielt, versteht man unter „Empfindlichkeit“ gewöhnlich das Gewicht, welches bei mittlerer Belastung der Wage einen Zungenausschlag von einem Teilstrich herbeiführt.

einen in gleiche Strecken eingeteilten längeren Arm, auf welchem sich das Laufgewicht L verschieben läfst, so dafs ein und dasselbe Gewicht, in verschiedenen Entfernungen vom Drehungspunkte D verschiedene statische Momente ergibt und daher verschiedenen Lasten, die immer in der gleichen Entfernung AD vom Drehpunkte wirken, das Gleichgewicht halten kann. Ohne Laufgewicht schwebt der Wagebalken horizontal; der Hebelarm AD der Last ist ebenso lang wie jeder Teil des längeren Arms; beträgt AD 1 cm, so ist auch der längere Arm in cm eingeteilt. Tritt nach dem Anhängen einer Ware in H das Gleichgewicht ein, wenn das Laufgewicht 10 cm vom Drehpunkt D entfernt ist, so wiegt die Last 10 kg, wenn das Laufgewicht 1 kg wiegt. Die Zahl der cm auf dem längeren Arm gibt zugleich die Zahl der kg der zu wägenden Last an.

§ 82. Der einarmige Hebel und seine Anwendung.

1. Will ein Fuhrmann den Pferden behilflich sein, den Wagen aus den abgeladenen Sand- oder Steinhaufen herauszuziehen, so bedient er sich wieder des Hebels. Er setzt seine Holzstange mit dem eisenbeschlagenen Ende *D* fest auf den Erdboden, so dafs sie sich um diesen Punkt drehen kann (Fig. 160). Dann greift der Fuhrmann am anderen Ende *A* der Stange an und übt auf das eine Hinterrad bei *B* einen Druck nach vorn aus, indem er selbst bei *A* mit einer gewissen **Kraft** nach vorn drückt. Das Wagenrad setzt dem Drucke nach vorn einen Gegendruck nach hinten entgegen, welcher als **Last** wirkt. Die Stange dient hier als einarmiger Hebel. *D* ist der Drehpunkt, *A* der Angriffspunkt der Kraft, *B* der Angriffspunkt der Last. Die lotrechten Abstände des Drehpunktes von der Kraft- und der Lastrichtung sind die Hebelarme. Ein Hebel heifst ein **einarmiger Hebel**, wenn die Angriffspunkte der Kraft und der Last vom Drehpunkte aus auf derselben Seite liegen. Die Kraft drückt nach vorn, die Last nach hinten: Beim einarmigen Hebel wirken Kraft und Last nach entgegengesetzten Richtungen.

Fig. 160.

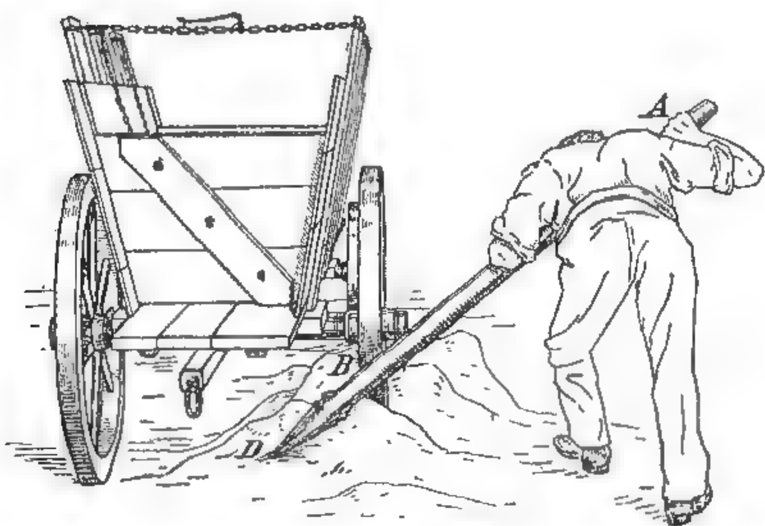
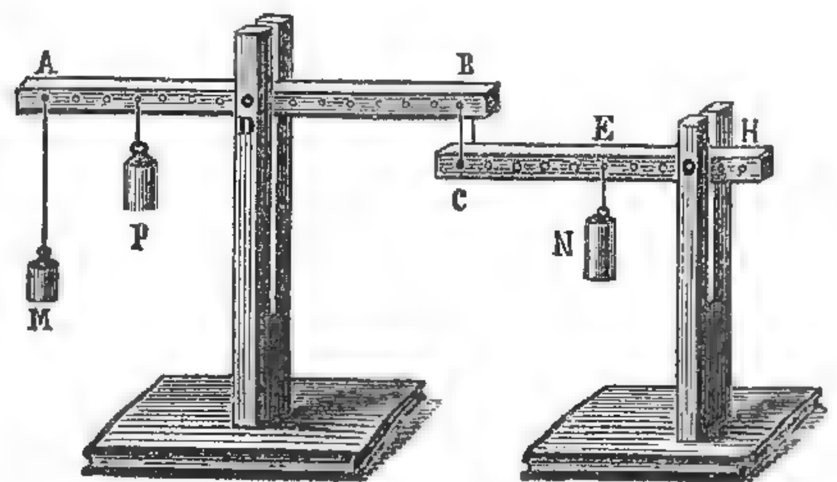


Fig. 161.



2. Eine etwas über 50 cm lange Holzstange *C H* ist an dem einen Ende *H* durchbohrt und hier über einen horizontalen Stift geschoben, um den sie sich drehen läfst (Fig. 161). Die Stange ist ein **einarmiger Hebel.** Sein Drehpunkt liegt an dem Ende bei *H*; am anderen Ende *C* greift eine nach oben gerichtete Kraft an; der Angriffspunkt *E* der nach unten gerichteten Last *N* liegt zwischen dem Drehpunkt *H* und dem Angriffspunkt *C* der Kraft. Die Angriffspunkte von Kraft und Last liegen auf derselben Seite vom Drehpunkt, daher ist der Hebel ein einarmiger Hebel. Das freie Ende *C* des zunächst unbelasteten einarmigen Hebels *HC* wird mit einer Schnur an den Arm *DB* eines gleicharmigen Hebels *AB* gehängt; an den anderen Arm *DA* des zweiarmigen Hebels hängt man ein Gewicht *P* so, dafs das vom Eigengewicht des Hebels *CH* herrührende Moment ausgeglichen wird und beide Hebel wagerechte Stellung annehmen. Hängt man nun an die Mitte des einarmigen Hebels 2 kg und an das Ende *A* des freien Armes des zweiarmigen Hebels 1 kg, so zieht die Schnur *BC* den Endpunkt *C* des einarmigen Hebels mit der Kraft von 1 kg empor, und der einarmige Hebel ist im

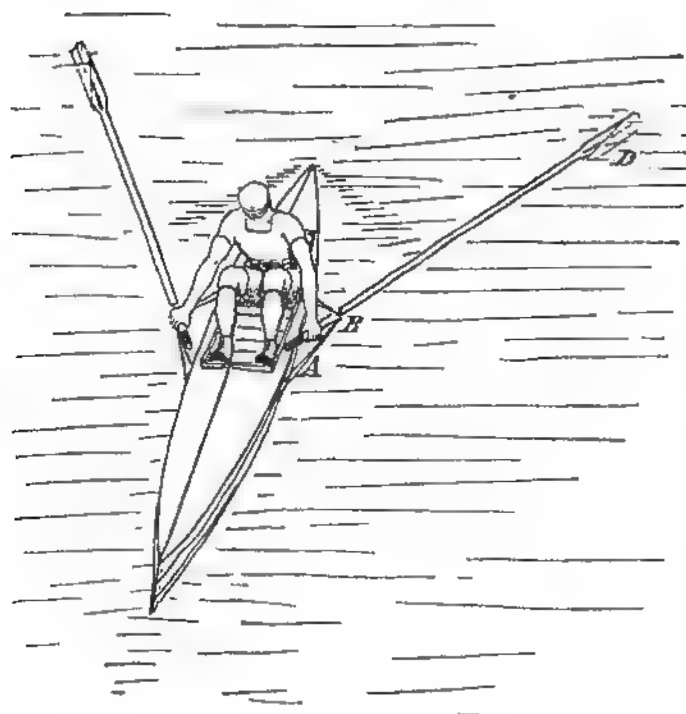
Gleichgewicht. Die Kraft von 1 kg wirkt in C an einem 50 cm langen Hebelarm nach oben, und ihr Moment ist $1 \times 50 = 50$. Die Last von 2 kg dagegen wirkt an einem 25 cm langen Arm nach unten, ihr Moment ist $2 \times 25 = 50$ und ist dem der Kraft gleich. Hängen ferner links an dem gleicharmigen Hebel in A 100 g, so wirkt in C eine Kraft von 100 g an einem 50 cm langen Arm nach oben. Das Moment der Kraft ist $100 \times 50 = 5000$. Ist die Last 500 g schwer, und wirkt sie an einem 10 cm langen Hebelarm, so tritt das Gleichgewicht ein. Das Moment der Last ist auch 5000. **Auch der einarmige Hebel ist im Gleichgewicht, wenn das Moment der Kraft gleich dem Moment der Last ist.**

3. Alle Hebel, bei denen der Kraftarm länger ist als der Lastarm, führen eine Ersparnis an Kraft herbei; sie ermöglichen mittels einer kleinen Kraft einen grofsen Druck auszuüben. Hebel, deren Kraftarm länger ist als der Lastarm, heifsen **Druckhebel.** Bei der Bewegung eines solchen Hebels mufs aber die kleine Kraft einen grofsen Arbeitsweg zurücklegen, während der grofse Druck auf einem kleinen Arbeitsweg wirkt, so dafs sich auch hier die goldene Regel der Mechanik bewährt.

4. Wird ein zweiarmiger, ungleicharmiger oder ein einarmiger Hebel so benutzt, dafs die Kraft am kürzeren Hebelarm angreift, so ist für das Gleichgewicht eine Kraft erforderlich, gröfser als die Last, und bei eintretender Bewegung ist in der gleichen Zeit der Weg der Last gegen den Weg der Kraft sovielmal gröfser, als der Kraftarm im Lastarm enthalten ist. Daher kann man mittels eines solchen Hebels einem Körper eine grofse Geschwindigkeit erteilen. Ein Hebel, dessen Kraftarm kleiner ist als der Lastarm, heifst ein **Wurfhebel.**

5. **Anwendungen** des einarmigen Hebels. Ein einarmiger Hebel ist das Ruder (Fig. 162); der Drehpunkt D liegt im Wasser, der Angriffspunkt B der Last am Bootsrande, der Angriffspunkt A der Kraft in der Hand des Ruderers. Wenn ein Mann und ein Kind gemeinsam eine Last an einer Stange tragen, so liegt die Last dem Manne näher, weil sie jeder von ihnen an einem einarmigen Hebel trägt, dessen Drehpunkt in der Hand des anderen liegt; einarmige Hebel sind ferner die Stroh- und Brotschneiden, auch das Sicherheitsventil (§ 177, 184) an Dampfkesseln; einen doppelten einarmigen Hebel bildet der Nufsknacker. Unsere Arme sind einarmige Hebel, unterstützt im Schultergelenk, in Bewegung gesetzt durch einen Muskel am Oberarm und so eingerichtet, dafs mit Verlust von Kraft eine geringe Muskelbewegung eine schnelle Bewegung des Armes zur Folge hat; das Emporheben einer Last mit ausgestrecktem Arm ist ein Kraftstück, weil eine Muskelkraft aufgewandt werden mufs, die weit gröfser ist als das Gewicht der Last.

Fig. 162.

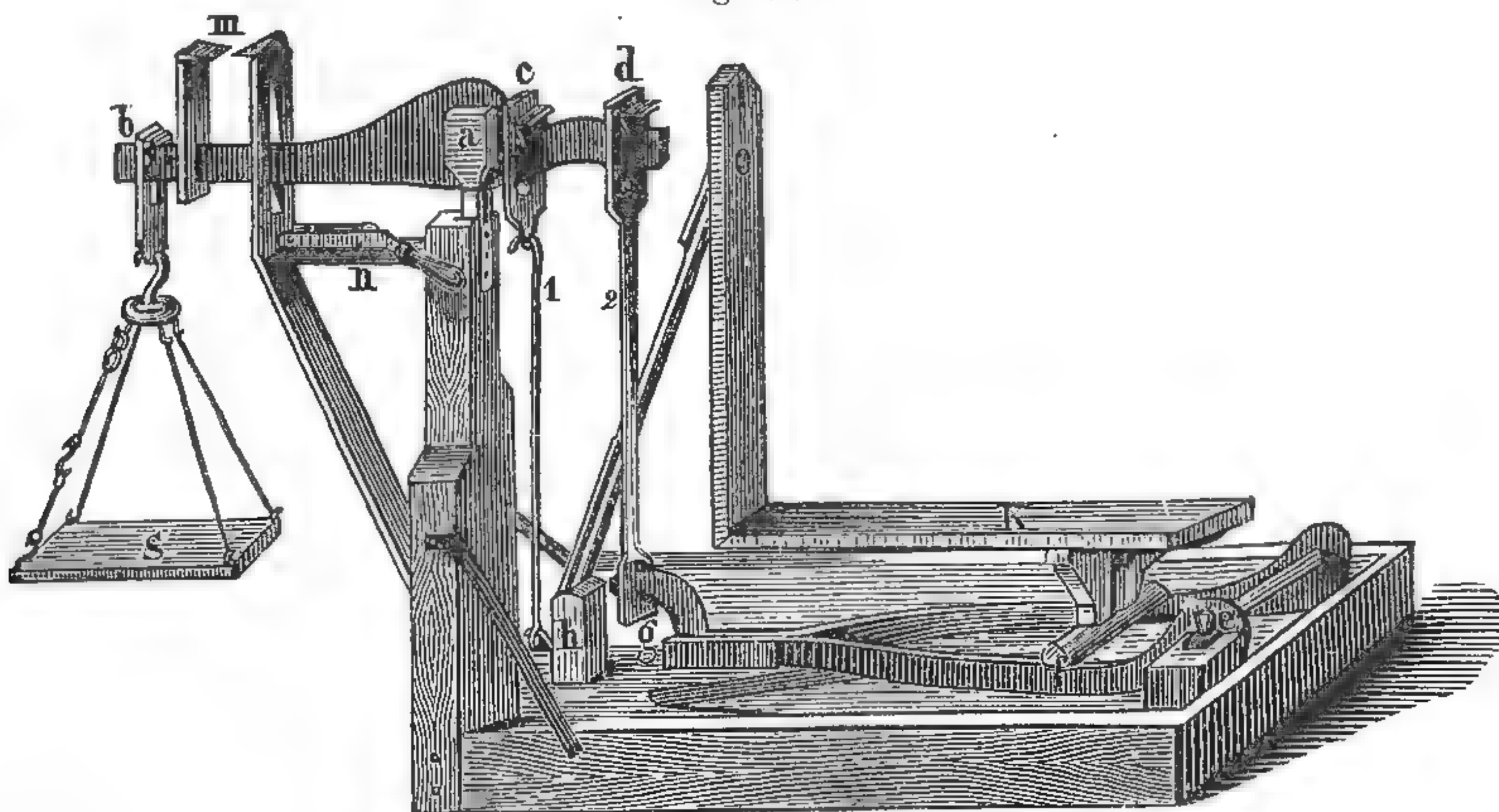


§ 83. Die Brückenwage oder Dezimalwage.

Die **Brückenwage,** erfunden 1821 vom Mechaniker Quintenz zu Strafsburg, ist eine Zusammenstellung von ungleicharmigen Hebeln, einem zweiarmigen und zwei einarmigen. Den zweiarmigen Hebel bildet der Wagebalken bd (Fig. 163 und 164); an dem linken Ende des einen Armes ab hängt die Wagschale; dieser Arm ist zehnmal so lang als der andere Arm ac, so dafs ein Gewicht von 1 kg am Arme ab einer Last von 10 kg am Arme ac das Gleichgewicht hält. Soll man also für jede zu wägende Last nur ein Gewicht gleich dem zehnten Teil der Last brauchen, um Gleichgewicht zu erzielen, so mufs die Zusammenstellung der Hebel an der Wage so wirken, als hinge die gesamte Last am Punkte c

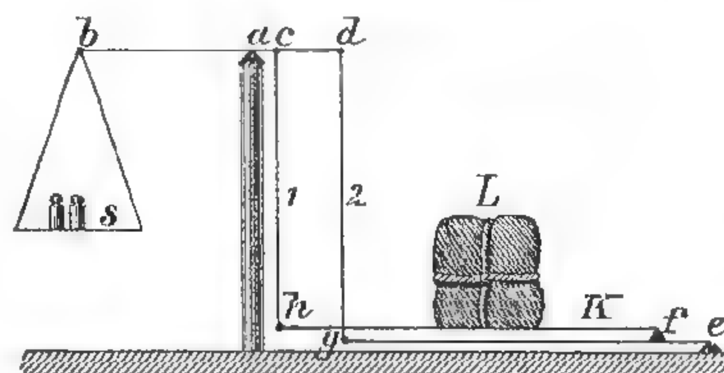
des Hebelarmes *ac*. Statt aber die Last an den kürzeren Hebelarm *ac* selbst zu hängen, wird sie auf die Brücke *K* gelegt, eine hölzerne, mit Eisenblech beschlagene Platte, die einen einarmigen Hebel bildet; links in *h* hängt die Brücke an der am kürzeren Arm *ac* des Wagebalkens angreifenden Zugstange 1, und rechts an ihrem breiteren Ende ruht sie in *f* auf einem unter ihr befindlichen einarmigen Hebel *eg*. Die Last wirkt also teils mittels jener Zugstange 1 auf den kürzeren Arm des Wagebalkens, teils drückt sie den unter der Brücke befindlichen Hebel *eg* nieder. Damit dieser Teil der Last nicht verloren geht, hängt der Hebel *eg*, der seinen Drehpunkt rechts im Punkte *e* hat, links mittels einer zweiten Zugstange *2* im Punkte *d* gleichfalls an dem Wagebalken,

Fig. 163.



aber entfernter vom Drehpunkt *a* als der Punkt *c*, in dem die Zugstange *1* der Brücke angreift. Und zwar macht der Hebelarm *ac* der Zugstange *1* den fünften Teil von *ad*, dem Hebelarm der Zugstange *2*, aus, wenn der unterste, einarmige Hebel *eg* fünfmal so lang ist als *ef*. Es muſs an der Brückenwage der kürzere Teil *ad* des Wagebalkens ebenso eingeteilt sein wie der einarmige Hebel *eg* unter der Brücke. Das Gleichgewicht wird durch zwei sich gegenüberstehende Schneiden am Wagebalken und am Gestell angezeigt. Durch die Arretierung *n* läſst sich zur Schonung der Schneiden der Wagebalken so verschieben, daſs die Brücke auf dem Gestell ruht. Von der Last auf der Brücke, die 50 kg wiegen möge, wirkt ein Teil, beispielsweise 20 kg, unmittelbar auf die erste Zugstange und den Punkt *c* des Wagebalkens. Der andere Teil der Last, der 30 kg beträgt, drückt im Punkte *f* auf den Hebel unter der Brücke. Dreht sich nun dieser Hebel, welcher fünfmal so lang als *ef* ist, so durchläuft sein Endpunkt *g*, im Vergleich zu dem Punkte *f*, einen fünfmal so groſsen Weg, übt aber nur den fünften Teil des Druckes, einen Druck von $^1/_5 \times 30 = 6$ kg aus. Diesen Druck überträgt die zweite Zugstange auf den Punkt *d* des Wagebalkens. Weil *d* von der Achse *a* fünfmal so weit entfernt ist als *c*, bewirkt ein Druck in *d* ein fünfmal so groſses statisches Moment, als wenn er in *c* wirkte. Jeden in *d* wirkenden Druck kann man sich also, ohne daſs sich an dem Gleichgewicht etwas ändert, durch einen fünfmal gröſseren Druck in *c* ersetzt denken. Da nun in unserem Beispiele in *d* 6 kg wirken, so haben diese

Fig. 164.



6 kg denselben Einfluſs, als ob 6 kg × 5 oder 30 kg also der andere Teil der Last gleichfalls an der ersten Zugstange wirkte. Weil der untere Hebel und der kürzere Teil des Wagebalkens gleiche Einteilung haben, wird durch diesen der Druck, den der zweite Teil der Last ausübt, in demselben Maſse vergröſsert, in welchem er durch den unteren Hebel verkleinert wird. Die Wage wirkt so, als hinge die ganze Last an der ersten Zugstange, wie es erfordert wird. Ist der Hebelarm ab hundertmal so lang als ac, so betragen die erforderlichen Gewichte nur $^1/_{100}$ der Last, und die Wage heiſst dann Zentesimalwage.

§ 84. Die Rolle.

1. Die Rolle ist eine kreisrunde, zur Aufnahme einer Schnur an ihrem Umfange ausgehöhlte Scheibe, die sich um eine durch ihren Mittelpunkt gehende Achse drehen läſst. Die Enden der Achse liegen in den Bohrungen eines zweiarmigen Metallstabes, welcher die Schere genannt wird. Ist die Schere einer Rolle befestigt, so heiſst die Rolle eine feste Rolle. Läuft über eine **feste Rolle** (Fig. 165) eine Schnur, so ist Gleichgewicht da, wenn an beiden Enden derselben gleiche Gewichte hängen. Denkt man sich durch die Achse der Rolle den wagerechten Durchmesser ac gezogen, so erscheint die feste Rolle als ein gleicharmiger Hebel, dessen Drehpunkt die Mitte b der Rolle ist. **An der festen Rolle tritt Gleichgewicht ein, wenn die Kraft K der Last L gleich ist.** $K = L$. Deshalb dient die feste Rolle nicht, um an Kraft zu sparen, sondern um die Richtung einer Bewegung zu ändern. Diesen Zweck erreicht man durch sie an Türen, die ein herabsinkendes Gewicht schlieſst, an der Ramme, an welcher die Arbeiter, indem sie abwärts ziehen, den Rammklotz nach oben bewegen, an Hängelampen, Kranen u. s. f.

Fig. 165.

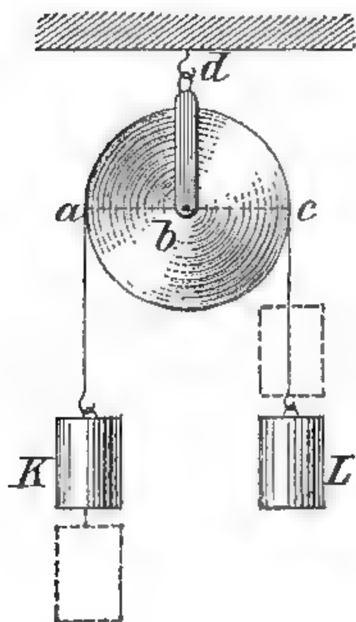


Fig. 166.

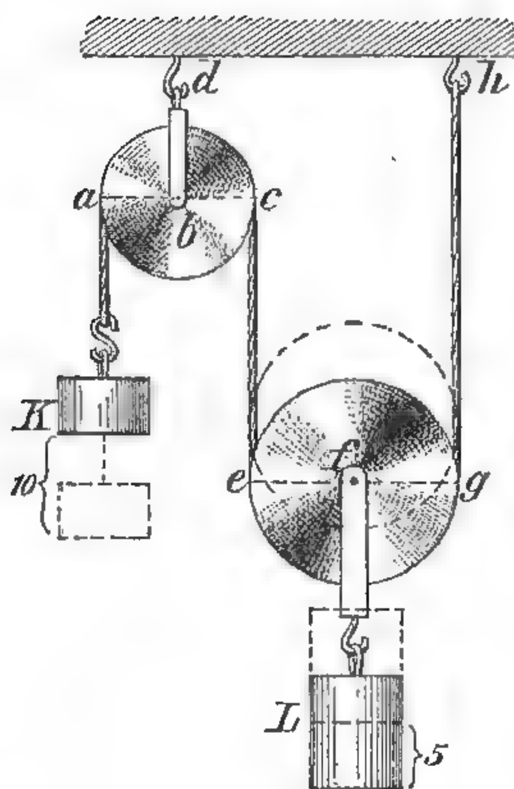
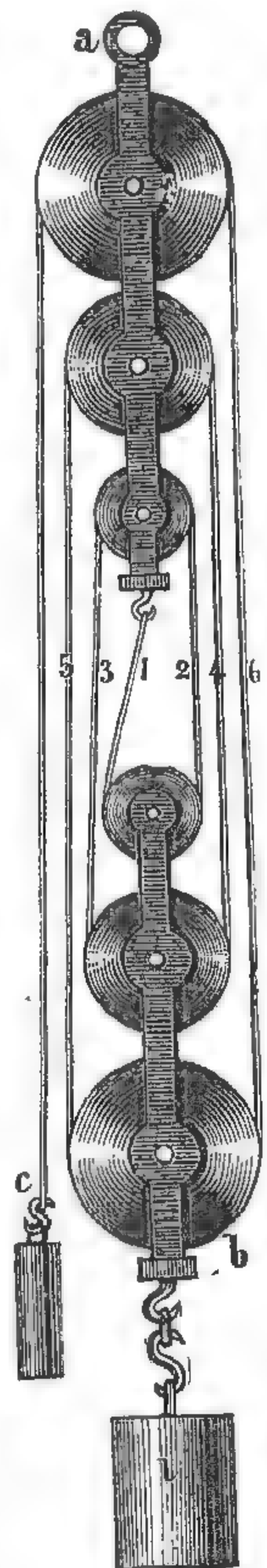


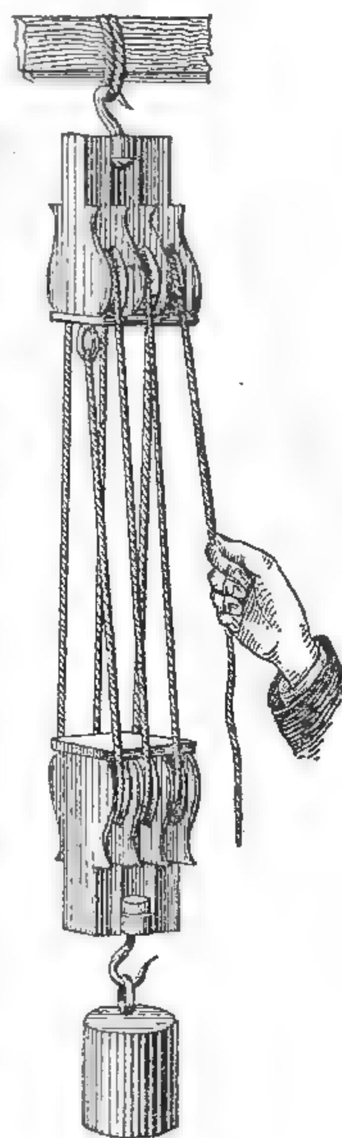
Fig. 167.



2. Wenn man das eine Ende einer Schnur an einen festen Haken h bindet und die Schnur unter einer Rolle fortleitet, so daſs die Schere mit der Last L lotrecht abwärts hängt, so kann man mittels der Schnur die Rolle und ihre Schere auf und ab bewegen. Eine Rolle, deren Schere beweglich ist, heiſst eine **bewegliche Rolle** (Fig. 166). Die Last hängt an der Schere derselben; um beim Gleichgewicht die Kraft zu messen, leitet man die Schnur über eine feste Rolle und läſst die Kraft K am freien Ende der Schnur wirken. **An der beweglichen Rolle tritt das Gleichgewicht ein, wenn die Kraft halb so groſs ist als die Last.** $K = \frac{L}{2}$. Zieht man den Durchmesser efg, so wirkt die Kraft in der Richtung ec nach oben am Hebel-

arm *eg*, die Last nach unten am Hebelarm *fg*. Jede bewegliche Rolle ist daher ein einarmiger Hebel, dessen Drehpunkt in *g*, am Umfang der Rolle liegt; die Kraft wirkt an einem doppelt so langen Arm als die Last, denn der Kraftarm ist der Durchmesser, der Lastarm der Halbmesser der beweglichen Rolle. Auch mit der beweglichen Rolle läſst sich nur Kraft, keine Arbeit ersparen; denn wird die Last um 5 cm gehoben, so muſs die halb so groſse Kraft den Weg von 10 cm zurücklegen, so daſs Kraft mal Kraftweg gleich ist Last mal Lastweg.

Fig. 168.

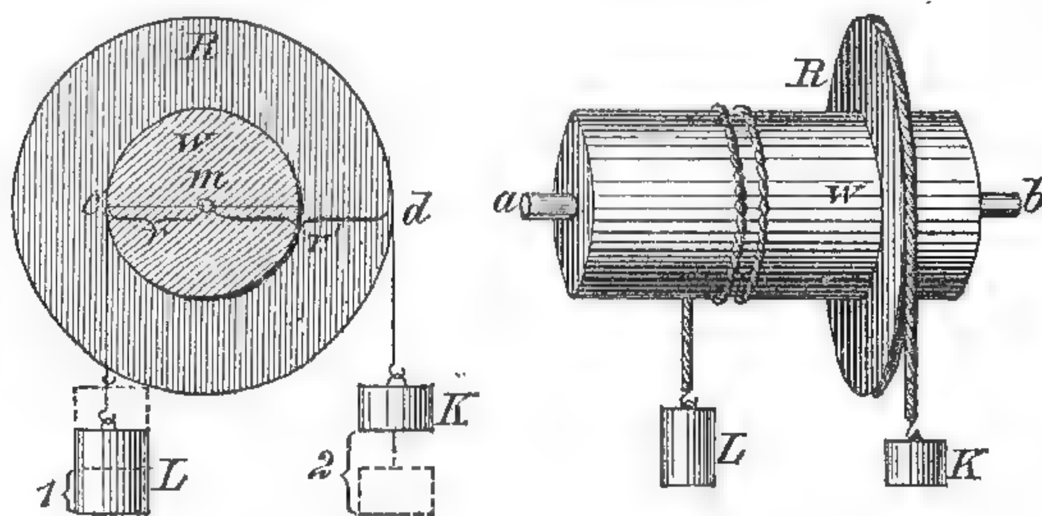


3. Weil die bewegliche Rolle das Heben der Last erleichtert, werden häufig mehrere bewegliche Rollen mit mehreren unbeweglichen zusammengestellt und bilden den gewöhnlichen **Flaschenzug** (Fig. 167 u. Fig. 168), der auf Schiffen und bei Bauten angewandt wird. Die hängende Last verteilt sich gleichmäſsig auf so viel Seilstrecken, als Rollen da sind. Bei 4 Rollen hat daher jede Seilstrecke $^1/_4$, bei 6 Rollen $^1/_6$ der Last zu tragen. Die Kraft braucht aber nur einer dieser Seilstrecken das Gleichgewicht zu halten; bei 4 Rollen beträgt die Kraft also $^1/_4$, bei 6 Rollen $^1/_6$ von der Last. **Am gewöhnlichen Flaschenzug verhält sich beim Gleichgewicht die Kraft zur Last, wie eins zur Anzahl der Rollen.** Soll die Last um 10 cm gehoben werden, so muſs sich bei 6 Rollen jede der 6 tragenden Seilstrecken um 10 cm verkürzen, also muſs sich das Kraftgewicht um $6 \times 10 = 60$ cm nach unten bewegen, so daſs wieder Kraft mal Kraftweg gleich ist Last mal Lastweg.

§ 85. Das Wellrad.

1. Ein an einer Walze befestigtes und sich mit ihr um dieselbe Achse drehendes Rad heiſst ein **Rad an der Welle oder ein Wellrad** (Fig. 169). Die Walze *w* heiſst die Welle; an ihrem Umfang hängt die zu hebende Last *L*; die Kraft *K* greift am Umfang des Rades *R* an. Befestigt man an dem Seil der Welle 2 kg, und tritt das Gleichgewicht ein, wenn man an das Rad 1 kg anhängt, so findet man beim Messen, daſs das Rad einen zweimal so groſsen Halbmesser hat als die Welle. Das Wellrad stellt einen Hebel mit zwei ungleichen Armen dar; die Arme sind die Halbmesser des Rades $md = r'$ und der Welle $mc = r$ (Fig. 169). **Am Wellrad tritt das Gleichgewicht ein, wenn sich die Kraft zur Last verhält, wie der Halbmesser der Welle zum Halbmesser des Rades.**

Fig. 169.



Die Gleichgewichtsbedingung ist:

$$\frac{\text{Kraft}}{\text{Last}} = \frac{\text{Halbmesser der Welle}}{\text{Halbmesser des Rades}}; \text{ also Kraft} = \text{Last} \times \frac{\text{Halbmesser der Welle}}{\text{Halbmesser des Rades}}.$$

Beträgt die Länge des Wellenhalbmessers 0,5 von der Länge des Radhalbmessers, so beträgt die Kraft 0,5 von der Last. Ebenso verhält sich aber auch der Weg, durch den die Last bei jeder Umdrehung der Welle gehoben wird zu dem Wege, welchen die Kraft zurücklegt, so daſs nach der goldenen Regel wieder ein Arbeitsgewinn nicht stattfindet.

2. Manche Wellräder sind vollständige Räder, z. B. die Wasserräder; bei den unterschlächtigen Wasserrädern (Fig. 170) trifft das Wasser den unteren Teil des Radkranzes und wirkt durch Stoſs; bei den oberschlächtigen

Fig. 170.

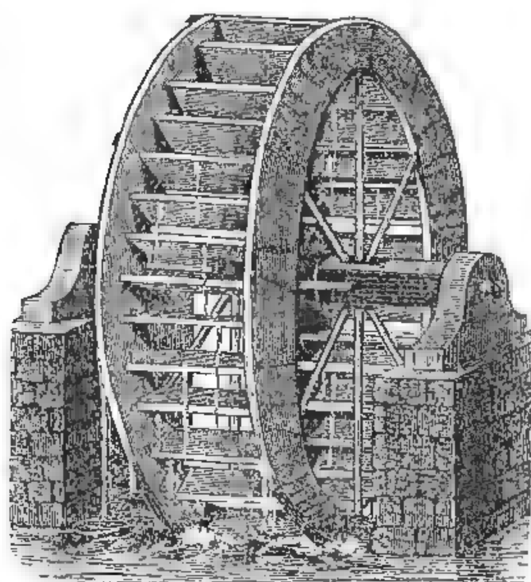


Fig. 171.

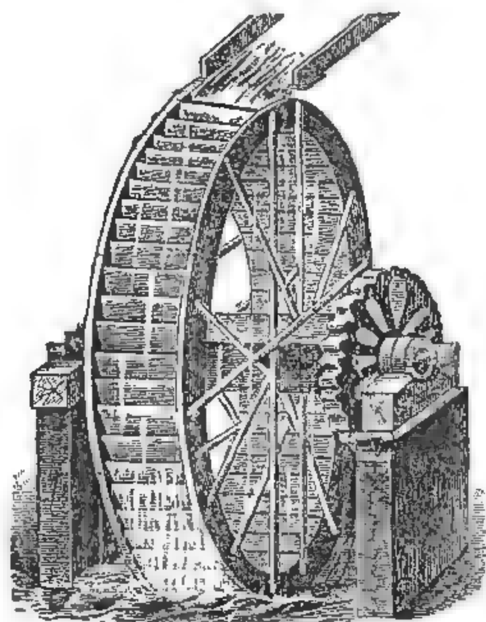
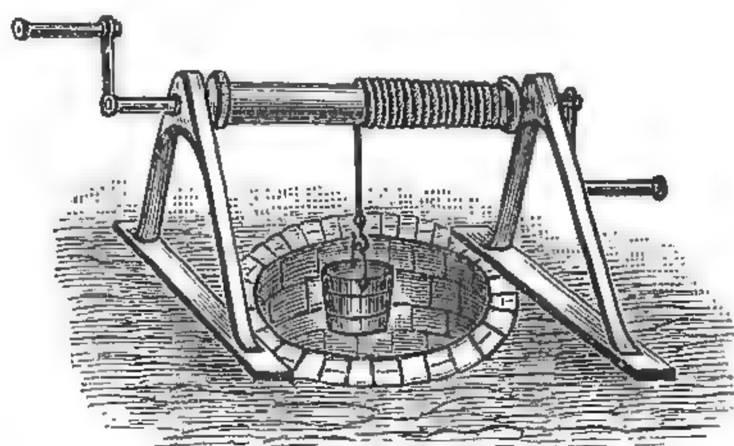


Fig. 172.



Rädern (Fig. 171) fällt das Wasser von oben in die Zellen und wirkt durch sein Gewicht. Häufig wird aber das Rad durch mehrere Speichen ersetzt, d. h. durch Stäbe, welche in der Richtung der Radhalbmesser in die Welle eingefügt sind, wie es am Göpel und den Windmühlenflügeln der Fall ist; das Rad heiſst dann ein Spillen- oder Speichenrad. Eine mit einem Handgriff versehene Radspeiche, wie wir sie an der Welle des Schöpfbrunnens (Fig. 172), der Drehrolle und der Kaffeemühle antreffen, heiſst eine Kurbel. Auch das Fahrrad hat eine Kurbel.

§ 86. Rückblick auf die einfachen Maschinen.

Die schiefe Ebene, der Keil, die Schraube, der Hebel, die Rolle und das Wellrad heiſsen die sechs **einfachen Maschinen**, weil sie die Grundbestandteile aller Maschinen ausmachen. Die drei ersten einfachen Maschinen beruhen auf den Gesetzen der **schiefen Ebene.** Während die schiefe Ebene selbst fest liegt und unbeweglich bleibt, ist der Keil eine bewegliche, nicht gewundene schiefe Ebene, und die Schraube eine bewegliche, gewundene schiefe Ebene. Je kleiner die Höhe der schiefen Ebene, der Rücken des Keils und die Höhe eines Schraubengangs ist, desto weniger Kraft wird zum Gleichgewicht und zur Bewegung erfordert; desto kleiner ist aber auch der Weg, den die Last durchläuft. Auf die Gesetze **des Hebels** sind auch die Gesetze der Rolle und des Wellrads zurückzuführen. Die feste Rolle ist ein Hebel mit zwei gleichen Armen, die bewegliche Rolle ein Hebel mit doppelt so langem Arm der Kraft, das Wellrad ein Hebel mit bedeutend längerem Arm der Kraft. An diesen drei Maschinen wird eine desto kleinere Kraft erfordert, je länger der Arm ist, an dem sie angreift; desto kleiner ist aber der Weg, den die Last durchläuft. Die goldene Regel gilt daher für alle einfachen Maschinen, und bei allen, besonders bei den ersten, tritt durch die Reibung ein Verlust an Arbeit ein.

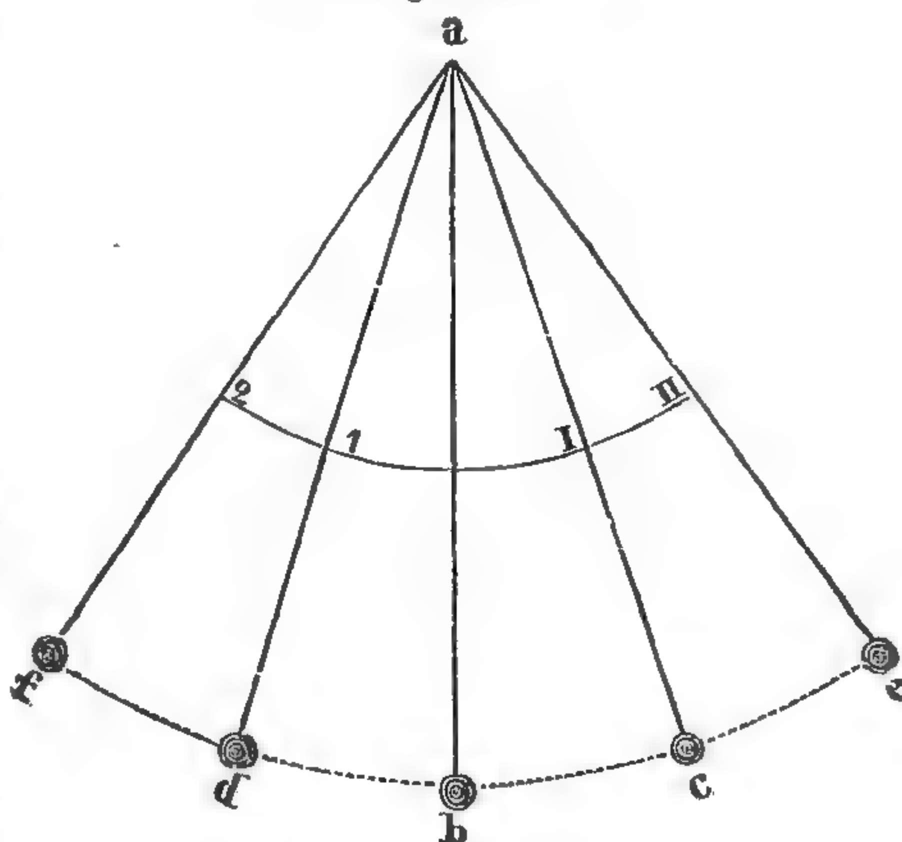
c) Das Pendel.

§ 87. Das Pendel und seine Anwendung.

1. **Das Fadenpendel.** Eine an einem dünnen Faden hängende Bleikugel (Fig. 173), die man aus ihrer Ruhestellung entfernt und (in dem Punkte *e*) sich selbst überlassen hat, fällt, weil der Schwerpunkt nicht unterstützt ist. Dabei bleibt die Kugel wegen des Fadens immer gleich weit von ihrem Aufhängepunkte *a* entfernt und durchläuft mit zunehmender Geschwindigkeit einen Kreisbogen *eb*. In dem tiefsten Punkte *b* ihrer Bahn ist die Geschwindigkeit der Kugel am gröſsten, und sie kann in demselben nach dem Beharrungsgesetz ihre Bewegung nicht be-

endigen, sondern mufs sich weiterbewegen, indem sie nach der entgegengesetzten Seite emporsteigt. Der höchste Punkt *f*, welchen die Kugel beim Steigen erreicht, liegt wegen des Widerstandes der Luft und der Reibung im Aufhängepunkte nicht ganz so hoch wie der Punkt *e*, von welchem aus die Kugel gefallen ist. Von dem höchsten Punkt, den sie beim Steigen erreicht hat, bewegt sich dann die Kugel wieder hinab, durchläuft den Bogen *ef* in entgegengesetzter Richtung und schwingt, durch die Schwerkraft bewegt, hin und her. Einen hängenden, in Schwingungen versetzten Körper nennt man **ein Pendel.** Eine an einem Faden hängende schwingende Kugel bildet ein Fadenpendel. Die Dauer einer Schwingung oder Oszillation wird vom Anfang des Fallens bis zum Ende des Steigens gerechnet; jeder Hingang bildet eine Schwingung, ebenso jeder Hergang. Der vom Pendel durchlaufene Kreisbogen heifst der Schwingungsbogen. Wegen der Hindernisse der Bewegung werden die Schwingungsbogen immer kleiner.

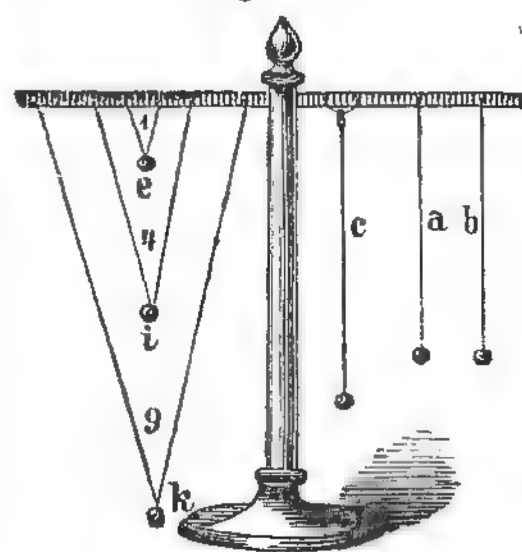
Fig. 173.



2. **Die Pendelgesetze.** Zählt man die kleinen Schwingungen, welche ein Fadenpendel in einer Minute ausführt, und nachher, wenn die Schwingungsbogen noch kleiner geworden sind, seine Schwingungen in der dritten Minute, so ist die Schwingungszahl (trotz der Verschiedenheit der Schwingungsbogen) in den gleichen Zeiten gleich grofs; die Schwingungen haben gleiche Zeitdauer. Ist der Schwingungsbogen etwas gröfser, so erlangt das Pendel, indem es wie auf einer steileren schiefen Ebene fällt, eine gröfsere Geschwindigkeit und durchläuft den Bogen *eb* in derselben Zeit, in welcher es nachher den Weg *cb* zurückgelegt. Unter der Voraussetzung, dafs die Schwingungsbogen nicht über 10 Grad betragen, gilt als erstes Pendelgesetz: **Kleine Schwingungen verschiedener Gröfse desselben Pendels haben gleiche Zeitdauer oder sind isochron.**

Stellt man sich mehrere gleich lange Fadenpendel her, deren Kugeln aus verschiedenen Stoffen bestehen, so schwingen alle gleich schnell (Fig. 174, a, b) und zeigen, dafs die Schwingungsdauer nicht von dem Stoff und Gewicht des Körpers, sondern nur von der Länge der Pendel abhängig ist. Von zwei ungleich langen Pendeln sieht man das längere langsamer schwingen (Fig. 174 a und c). Läfst man neben einem Pendel von 10 cm Länge ein anderes von 40 cm Länge schwingen, so macht das längere dieser Pendel eine Schwingung, während das kürzere zwei Schwingungen ausführt; das 40 cm lange Pendel braucht zu einer Schwingung die doppelte Zeit. Ein 90 cm langes Pendel braucht dreimal so viel (Fig. 174 e, i, k), ein 160 cm langes Pendel braucht viermal so viel Zeit zu einer Schwingung als ein Pendel von 10 cm Länge. Es ergibt sich das zweite Pendelgesetz: Ein längeres Pendel schwingt langsamer als ein kürzeres und braucht bei vierfacher Länge die doppelte Zeit, bei neunfacher Länge die dreifache, bei sechzehnfacher Länge die vierfache Zeit zu einer Schwingung.

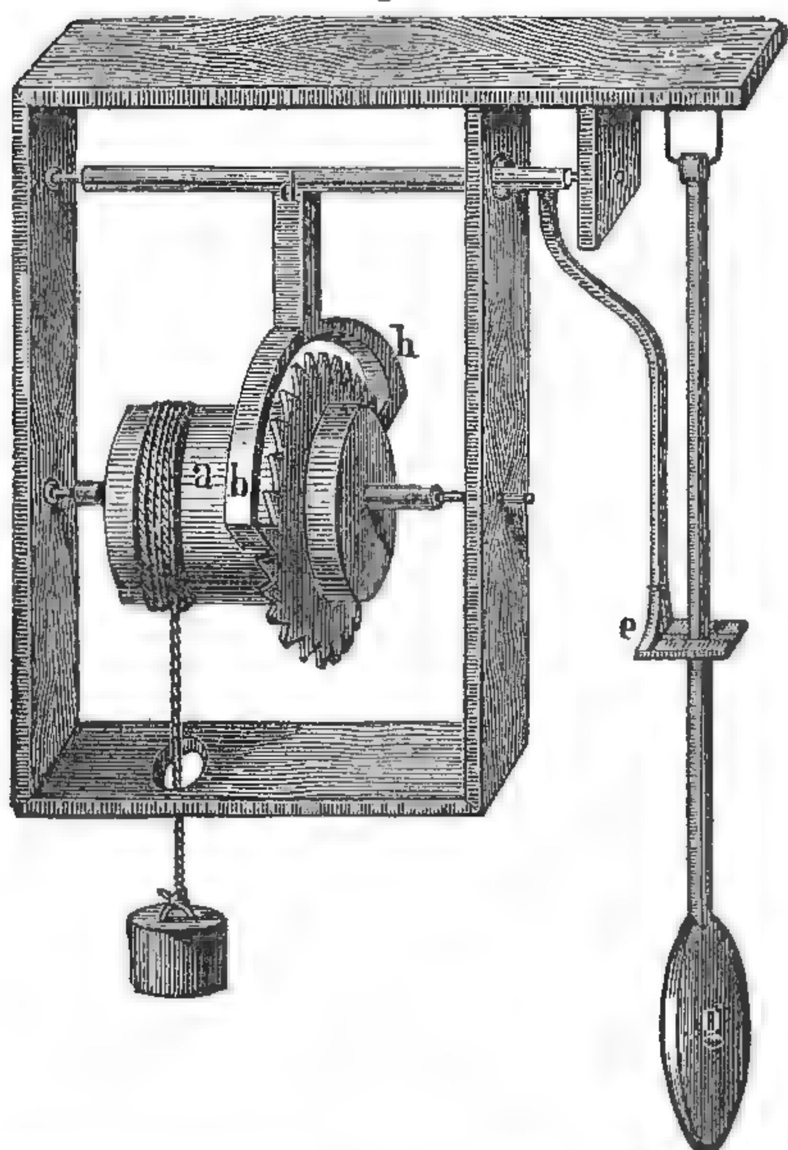
Fig. 174.



Allgemein: **Die Schwingungszeiten zweier Pendel verhalten sich wie die Quadratwurzeln aus den Pendellängen.**

3. **Das Stangenpendel.** Die von uns betrachteten Pendelgesetze gelten eigentlich nur für einen schweren Punkt, der an einem gewichtlosen Faden schwingt; ein solches Pendel heifst ein mathematisches Pendel. Ein Fadenpendel mit dünnem, leichtem Faden und kleiner, schwerer Kugel ist annähernd ein mathematisches Pendel. Häufig besteht das Pendel aus einer Stange mit einer verschiebbaren Scheibe. Ein Stangenpendel schwingt stets rascher als ein gleich langes Fadenpendel, weil die oberen Teile beschleunigend auf die unteren wirken. Denkt man sich das Stangenpendel in lauter einzelne schwere Punkte zerlegt, so würde jeder Punkt für sich ein mathematisches Pendel darstellen; die oberen Punkte stellen kürzere Pendel dar und suchen den Gang des Stangenpendels zu beschleunigen, die unteren Punkte wirken verzögernd auf den Gang des Stangenpendels ein. Dazwischen mufs, in bestimmter Entfernung vom Aufhängepunkt, ein Punkt liegen, der mit dem Stangenpendel gleiche Schwingungszeit besäfse, falls er als mathematisches Pendel allein schwingen würde; dieser Punkt heifst der Schwingungspunkt. Trägt man die Länge eines Fadenpendels, welches mit einem Stangenpendel gleiche Schwingungszeit hat, vom Aufhängepunkt aus auf dem Stangenpendel ab, so erhält man den Schwingungspunkt. Unter der Länge eines Stangenpendels hat man stets die Entfernung seines Schwingungspunktes vom Aufhängepunkt, die sogenannte reduzierte Pendellänge, zu verstehen.

Fig. 175.



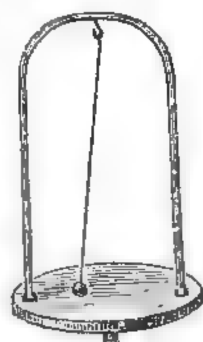
4. **Anwendungen** findet das Pendel, um den Gang der Uhren gleichförmig zu machen, und um die Abplattung und Achsendrehung der Erde nachzuweisen. Weil ein Pendel an einem und demselben Orte seine Schwingungen in gleichen Zeiten ausführt, ist dasselbe seit 1656 von Huygens angewandt worden, um den Gang der **Uhren** zu regulieren (Fig. 175). In den Gewichtuhren wird durch das Herabsinken eines Gewichtes ein Rad in Bewegung gesetzt; da aber das Gewicht, wie jeder fallende Körper, mit zunehmender Geschwindigkeit hinabsinkt, so würde die Uhr schneller und immer schneller gehen, wenn nicht eine Hemmung einträte. Diese Hemmung übernimmt das Pendel. Ein mit demselben verbundener Doppelhaken, der Uhranker *bh*, greift nach gleichen Zeiten in ein Rad mit schrägen Zähnen, das Steigrad, ein und hemmt auf kurze Zeit die Bewegung desselben, aller Räder und des Gewichts. Deshalb fällt das Gewicht absatzweise in kleinen, gleichen Zeiträumen; in gleichen Zeiten mufs es aber, da es den Fall immer von neuem beginnt, durch gleiche Wege fallen und sich daher in gröfseren Zeiträumen gleichförmig bewegen.

5. Ein 994 mm langes Pendel, das bei uns zu jeder Schwingung eine Sekunde braucht (Sekundenpendel), macht am Äquator etwas weniger, nach den Polen zu mehr als 60 Schwingungen in einer Minute. Da aber die Ursache der Pendelschwingungen die Schwerkraft ist und ihre Stärke abnimmt, je weiter man sich vom Mittelpunkte der Erde entfernt, so **ist aus den langsameren Pendelschwingungen am Äquator zu schliefsen,** dafs ein Punkt am Äquator weiter vom Mittelpunkt der Erde entfernt ist, als ein Punkt in der Nähe der Pole, oder **dafs die Erde abgeplattet ist.**

6. Nach dem Beharrungsgesetze kann das Pendel nicht selbsttätig die Richtung seiner Bewegung ändern, und seine Schwingungsebene mufs dieselbe

Richtung behalten, wie sich leicht mit der auf die Schwungmaschine geschraubten, in Fig. 176 dargestellten Vorrichtung zeigen läfst. Nun machte 1851 Foucoult an einem 67 m langen, frei beweglich in der Kuppel des Pantheons zu Paris aufgehängten Pendel, dessen Metallkugel 28 kg wog, die Beobachtung, dafs die am Fufsboden gezeichnete ursprüngliche Schwingungslinie sich drehte und allmählich eine vollständige Umdrehung vollendete. **So gibt das Pendel einen Beweis für die Umdrehung der Erde um ihre Achse** *).

Fig. 176.



d) Der Maschinenbau.

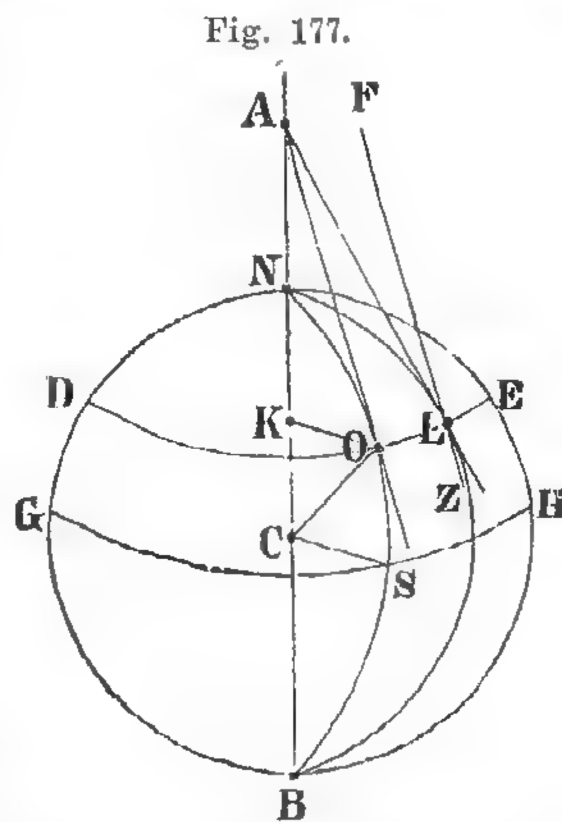
§ 88. Die Aufgabe des Maschinenbaues.

1. Der Zweck der Maschinen ist, eine Kraft instand zu setzen, mechanische Arbeiten von Wert auszuführen. Die Kraft des Wassers das auf der schiefen Ebene des Flufsbettes hinabfliefst, die Zugkraft der Pferde, die Kraft des Wasserdampfes und die explodierender Gase, sowie die Kraft des Magnetismus und des elektrischen Stromes lassen sich instand setzen, Getreide zu mahlen, Wolle zu spinnen, Bretter zu sägen, Lasten zu heben usf. Dazu wird erfordert, dafs die Maschinenteile, welche diese Arbeit ausführen, mit angemessener Kraft und Geschwindigkeit arbeiten, dafs sie sich entweder mit geringer Kraft schnell bewegen oder mit geringer Geschwindigkeit grofse Kraft äufsern.

2. Die ursprüngliche Leistung der Kraft kann durch keine Zusammenstellung von Rädern, Hebeln und anderen einfachen Maschinen vergröfsert werden. Was man durch eine einfache Maschine an Kraft erspart, verliert man an Geschwindigkeit, und umgekehrt. Einfache Maschinen sind aber die Bestandteile der zusammengesetzten. Bewegt die Kraft mit der Leistung von einer Pferdekraft die erste einfache Maschine, so kann diese der zweiten keine gröfsere Leistung übertragen, und der letzte Maschinenteil würde eine Arbeit von einer Pferdekraft ausführen, wenn nicht die Reibung an einer zusammengesetzten Maschine die Hälfte von der ursprünglichen Leistung der Kraft verzehrte. Arbeitet da-

*) In Figur 177 stellt NEHBGD die Erdkugel dar und O unseren Wohnort. Daselbst möge über der Linie OA, welche die Richtung nach Süden und Norden hat, ein langes, schweres Pendel schwingen. Wegen der Achsendrehung der Erde gelangt unser Ort O nach L. Die von Süden nach Norden führende Linie erhält dann die Lage LA, die Schwingungsebene des Pendels behält die Richtung LF. Je weiter die Erde sich dreht, desto mehr weicht die Schwingungsebene des Pendels (auf der nördlichen Erdhälfte) nach rechts hin von der Nordlinie ab. Dabei bleibt die Schwingungsebene gegen dieselben Fixsterne gerichtet; ihre Richtung bleibt dieselbe, so dafs FL gleichlaufend mit OA ist. Aber die Erde dreht sich und mit ihr unsere Nordlinie, welche aus der Lage OA in die Lage LA übergeht. Die Gröfse der Drehung in einer Stunde richtet sich nach der geograhischen Breite und beträgt an den Polen $360^\circ : 24 = 15^\circ$ in der Stunde. Ist O dem Nordpol näher, so liegt A näher an N und $\angle OAL = \angle ALF$ sind gröfser. Rückt O bis N, so ist $\angle OAL = \angle ALF = 15^\circ$. Je näher aber O am Äquator liegt, um so weiter ist A von N entfernt, und um so kleiner sind $\angle OAL$ und $\angle ALF$. Daraus geht hervor, dafs die stündliche Winkelabweichung um so kleiner ist, je näher O am Äquator liegt. Liegt O auf dem Äquator (in S), so ist A von N unendlich weit entfernt. Dann ist aber OA parallel zu LA (denn beide sind parallel zur Erdachse), also fällt LA mit LF zusammen, der Winkel ALF ist daher null Grad. Das sagt aus: Am Äquator tritt keine Abweichung der Schwingungsebene von der Nordlinie ein.

Fig. 177.



her die bewegende Kraft mit einer Leistung von einer Pferdekraft, so kann man nur über eine halbe Pferdekraft gebieten und sie zweckmäfsig verwenden.

§ 89. Die Teile einer zusammengesetzten Maschine.

1. Jede zusammengesetzte Maschine besteht aus drei Hauptteilen. Ein Maschinenteil ist für die unmittelbare Einwirkung der Kraft bestimmt, wie an der Wassermühle das Wasserrad, und heifst die **Kraftmaschine.** Ein anderer Maschinenteil, in der Mühle der umlaufende Mühlstein, hat unmittelbar die Arbeit auszuführen und heifst die **Arbeitsmaschine.** Ein dritter Teil, wie in der Mühle die gezahnten Wellräder, leitet die Bewegung von der Kraftmaschine bis zur Arbeitsmaschine und hat von seiner Stellung zwischen beiden den Namen der **Zwischenmaschine.**

2. Die Fortleitung oder Übertragung der Bewegung ist der erste Zweck der Zwischenmaschinen. Häufig hat die Kraftmaschine eine drehende oder Radbewegung, und die Arbeitsmaschine soll eine hin und her gehende Bewegung erhalten, oder umgekehrt. Zur Verwandlung der Radbewegung in eine hin und her gehende und umgekehrt, dienen ebenfalls Zwischenmaschinen. Drittens mufs die Arbeitsmaschine einen regelmäfsigen Gang haben, wenn auch die bewegende Kraft oder einzelne Maschinenteile Unregelmäfsigkeiten der Bewegung hervorbringen; die Bewegung mufs regelmäfsig gemacht oder reguliert werden. Sonach gibt es drei Klassen von Zwischenmaschinen: a) übertragende, b) verwandelnde und c) regelnde oder regulierende Zwischenmaschinen.

§ 90. Übertragende Zwischenmaschinen.

1. **Riemen ohne Ende** (Fig. 178, 179) sind Riemen, Seile oder Ketten, mit zusammengefügten Enden; sie laufen über zwei Räder oder Riemenscheiben mit

Fig. 178.

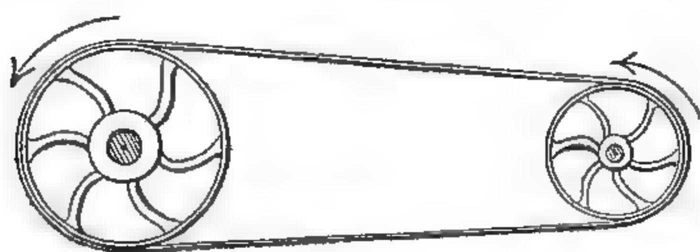
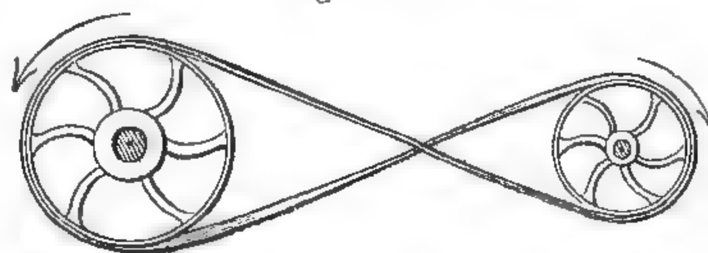


Fig. 179.



parallelen Wellen, so dafs ein Rad das andere dreht. Dabei läfst sich die Drehgeschwindigkeit ändern, weil sich das zweite Rad doppelt so schnell wie das erste dreht, wenn es den halben Durchmesser des ersten hat. Überkreuzt sich der Riemen, so dreht sich das zweite Rad im entgegengesetzten Sinne (Fig. 179). Der Riemen ohne Ende findet sich an Nähmaschinen, Drehbänken, Schleifmühlen,

Fig. 180.

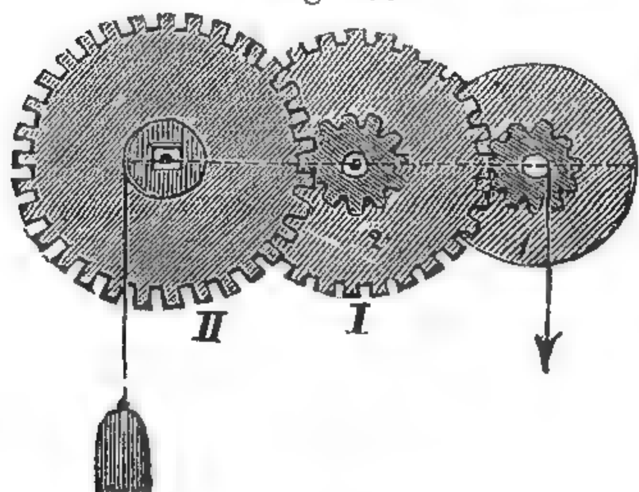


Fig. 181.

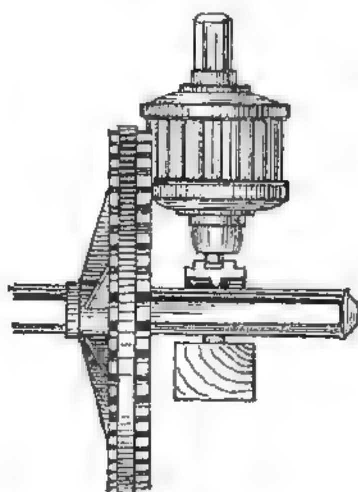
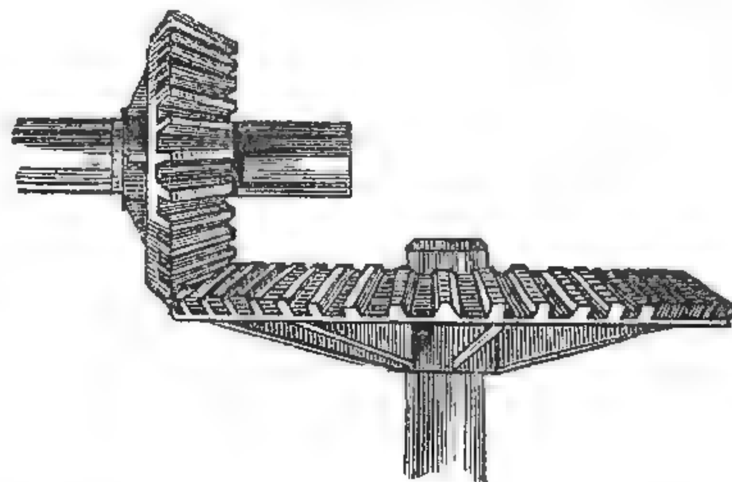


Fig. 182.



Fahrrädern, Spinnrädern und zur Kraftübertragung an Dampfmaschinen und elektrischen Maschinen.

2. **Die gezahnten Räder** zerfallen in drei Arten: Sternräder, Kronräder und Kegelräder. Am Sternrade (Fig. 180) bilden die Zähne Verlängerungen

der Halbmesser; die kleineren Sternräder, in welche die gröfseren eingreifen, heifsen Getriebe. Die Leistung hängt von der Anzahl der Zähne des Rades und des Getriebes ab; ein Sternrad mit 30 Zähnen gibt einem Getriebe mit 10 Zähnen die dreifache Geschwindigkeit, aber nur den dritten Teil der Kraft. An den Kron- oder Kammrädern (Fig. 181) stehen die Zähne rechtwinklig auf der Fläche des Rades und sind mit seiner Welle gleichlaufend. Sie werden angewandt, um eine liegende Welle durch eine stehende zu bewegen, und umgekehrt. — Die Zähne der Kegel- oder konischen Räder (Fig. 182) liegen auf dem Radkranz, welcher die Form eines abgestumpften Kegels hat. Durch sie kann auch auf eine schräg liegende Welle die Bewegung übertragen werden.

§ 91. Verwandelnde Zwischenmaschinen.

1. **Der Krummzapfen mit Pleuelstange** (Fig. 183) ist eine Kurbel *ba*, die durch eine Stange *bc* gedreht wird. Derselbe wird, um eine Radbewegung hervorzubringen, angewandt an der Nähmaschine, der Drehbank, an Dampfmaschinen

Fig. 183.

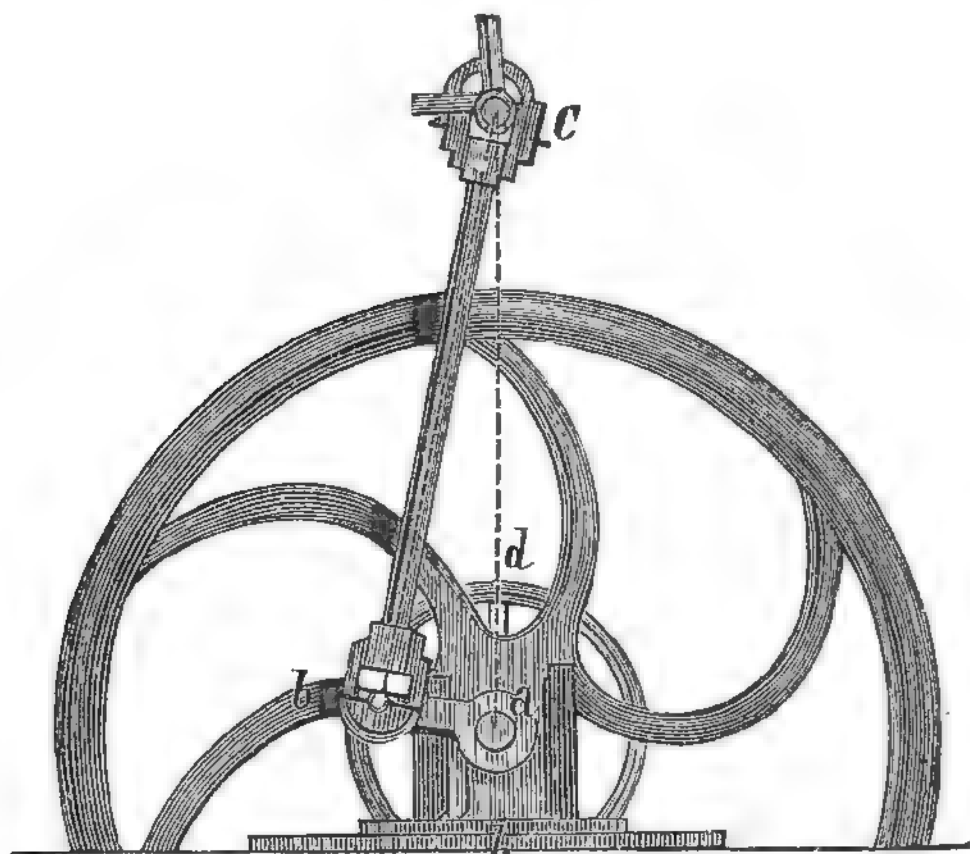
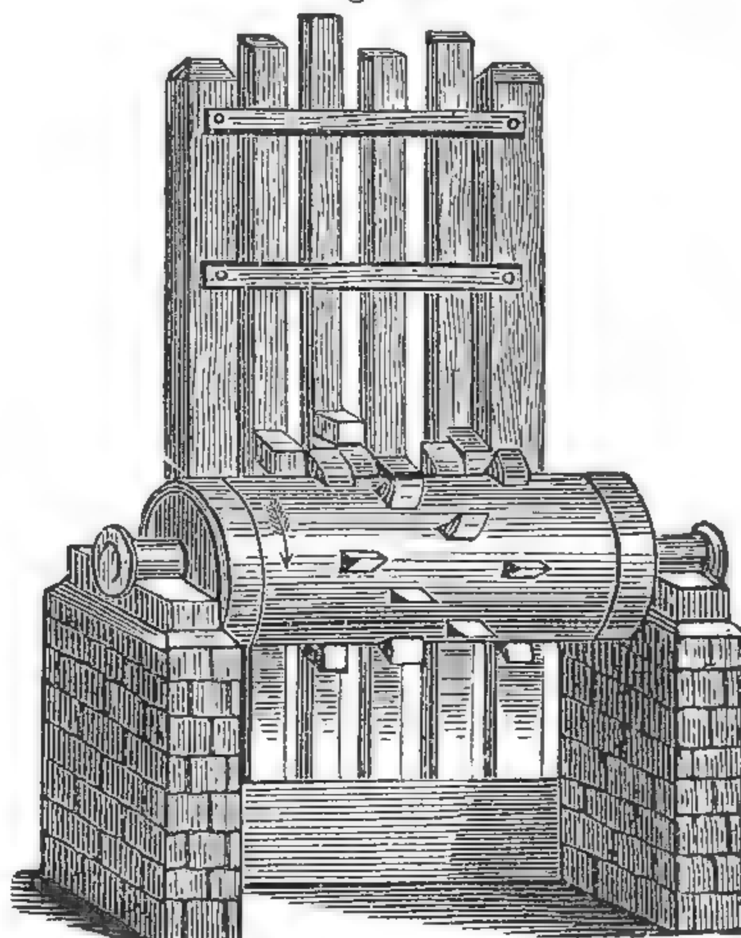


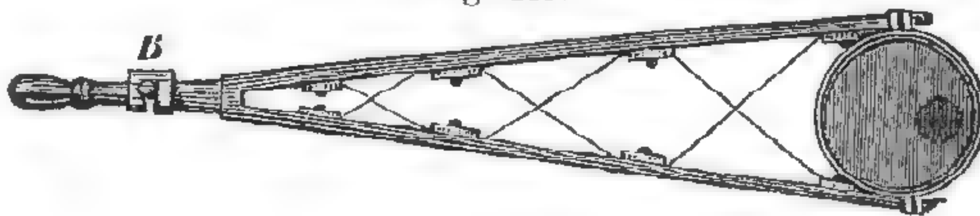
Fig. 184.



und Spinnrädern. Die Radbewegung der Kurbel kann aber auch eine hin und her gehende Bewegung der Pleuelstange *bc* bewirken, und diese wird benutzt für die Säge der Sägemühlen, die Zangen in Drahtziehereien, die Platten in Spiegelschleifereien u. s. w.

2. **Die Daumenwelle** (Fig. 184) ist eine mit daumenähnlichen Zähnen versehene Welle, welche in Hammerwerken das eine Ende des schweren Hammers niederdrückt und in Stampfwerken lotrecht stehende Balken oder Stampfer emporhebt, die nachher wegen ihrer Schwere hinabfallen.

Fig. 185.



3. **Die exzentrische Scheibe** (Fig. 185) ist eine kreisförmige Scheibe, deren Umdrehungsachse nicht durch ihren Mittelpunkt geht. Während sie sich dreht, liegt der gröfsere Teil derselben bald links, bald rechts von der Achse. Um den Umfang der Scheibe ist lose ein verschiebbarer Ring gelegt, welcher mittels einer Schubstange einen Hebel oder eine Stange hin und her schiebt. Anwendung findet die exzentrische Scheibe, die wie eine kleine Kurbel wirkt, bei der Steuerung und der Speisepumpe der Dampfmaschinen.

4. **Die gezahnte Stange mit Getriebe.** Eine gezahnte Stange ist eine gerade Stange, die auf der einen Seite mit Zähnen versehen ist; in dieselben greifen die Zähne eines Sternrades oder Getriebes ein. Dreht man das Rad, so tritt eine geradlinige Bewegung der Stange ein. Solche gezahnte Stangen finden Anwendung in den Lampen zur Stellung des Dochthalters, an Wagenwinden (Fig. 186), Drehrollen und Luftpumpen (Fig. 237, S. 136).

§ 92. Regulierende Zwischenmaschinen (Regulatoren).

1. **Das Schwungrad** (Fig. 183) ist ein eisernes Rad von großem Gewicht, das, einmal in Bewegung gesetzt, in derselben eine Zeit lang beharrt und auch die übrigen Maschinenteile zu gleichmäßiger Bewegung nötigt. Dasselbe ist notwendig, wenn ein einziger Krummzapfen eine Welle umdrehen soll, weil die Pleuelstange

Fig. 186.

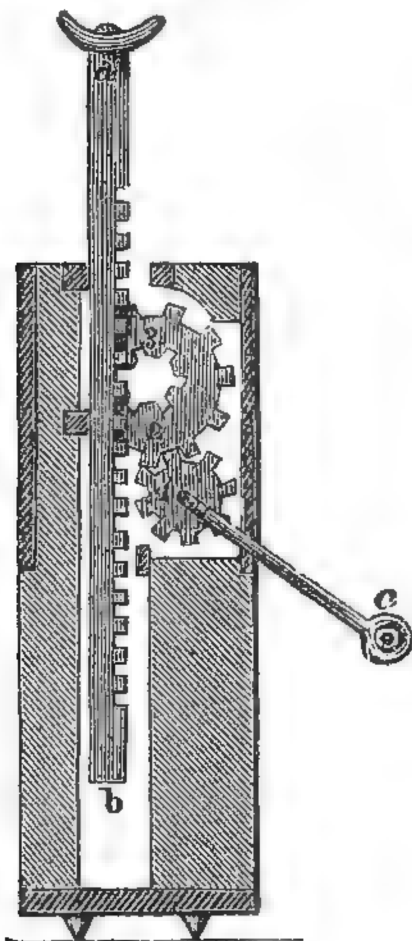


Fig. 187.

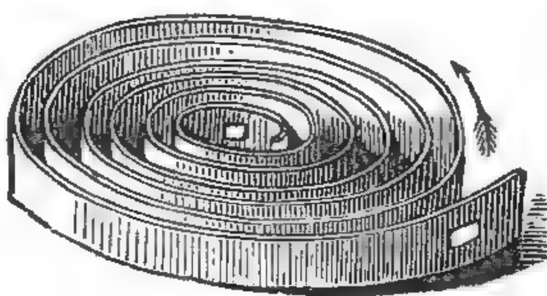
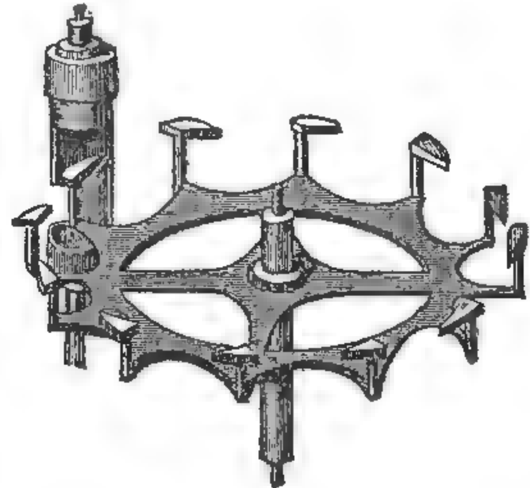


Fig. 188.



in ihren äußersten Stellungen auf die Welle keine drehende Wirkung ausübt.

2. **Das Pendel.** (§ 87, S. 104.)

3. **Der Zentrifugalregulator.** (§ 73, 5, S. 90, § 185.)

4. **Elastische Federn** befinden sich in Flintenschlössern, Türschlössern, Polstern und Uhren; sie dehnen sich nach dem Aufhören der Einwirkung einer zusammendrückenden Kraft wieder aus. In der Taschenuhr befindet sich als bewegende Kraft eine spiralförmige Feder aus Stahl (Fig. 187). Durch das Aufziehen der Uhr wird sie gespannt, dehnt sich dann allmählich aus und treibt das Räderwerk der Uhr; weil sie aber sich nicht gleichförmig ausdehnt, muß die Bewegung des Räderwerks reguliert werden, so daß sie in den einzelnen aufeinanderfolgenden Zeitteilchen sich regelmäßig und in gleicher Weise wiederholt.

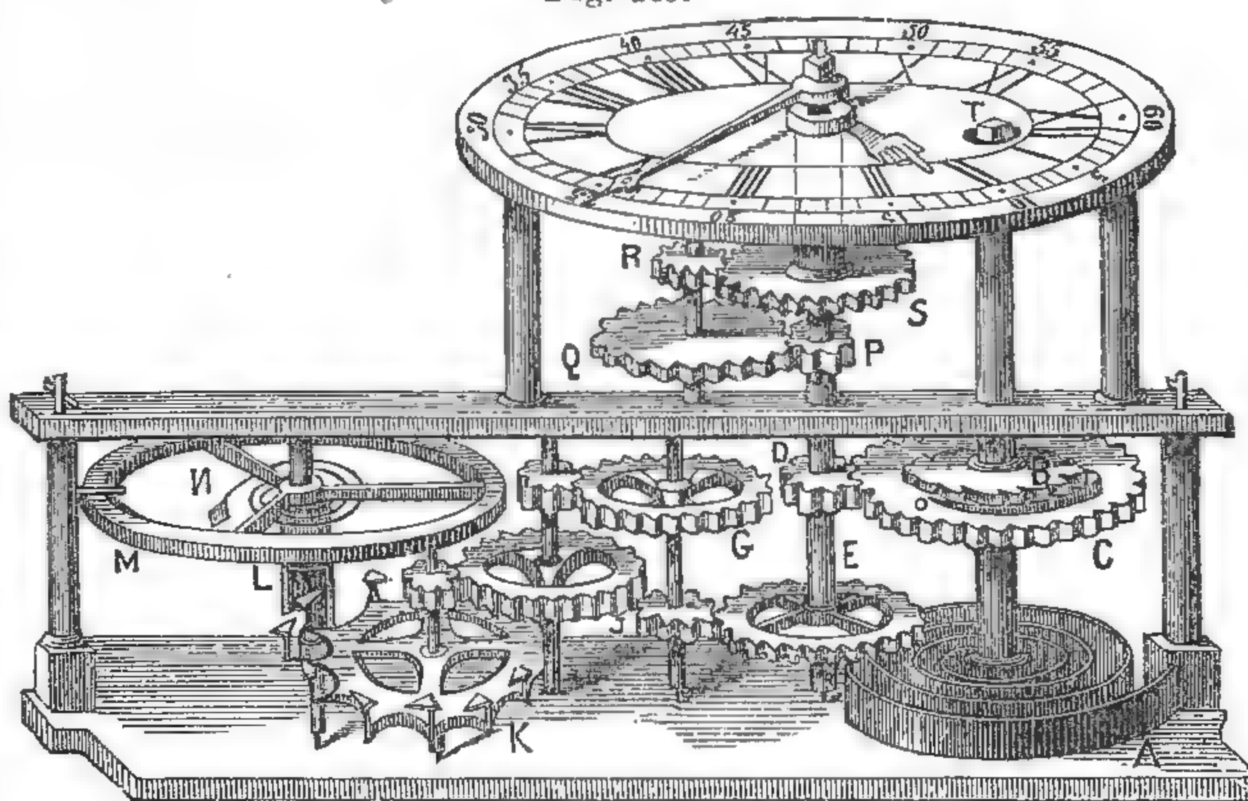
Als Regulator wirkt **die Spiralfeder mit der Unruhe.** Die Unruhe ist ein kleines Schwungrad, das eine lotrechte Achse hat. Das innere Ende der feinen, stählernen Spiralfeder ist an dieser Achse befestigt; ihr äußeres Ende wird von einem Punkte einer Uhrplatte festgehalten. Dreht sich die Achse der Unruhe nach rechts, so wird die Feder gespannt, strebt in ihre Ruhelage zurückzukehren und dreht auch das Schwungrad. Indem dies in seiner Bewegung beharrt, überschreitet die Feder ihre Ruhelage und wird ausgedehnt; deshalb leistet sie der weiteren Bewegung des Rädchens Widerstand und nötigt es, indem sie sich zusammenzieht, zu einer Bewegung in entgegengesetzter Richtung. Das in seiner Bewegung beharrende Schwungrad führt die Feder wieder über ihre Ruhelage hinaus, so daß sie von neuem gespannt wird. Auf diese Weise dreht sich die Unruhe von rechts nach links, und von links nach rechts; ihre Schwingungen erfolgen regelmäßig. Die Achse der Unruhe bildet in den Zylinderuhren einen hohlen Halbzylinder (Fig. 188), und das Zylinder- oder Hemmungsrad, das letzte Rad der Uhr, trägt oben auf dem Radkranz kleine Säulen mit keilförmigen Zähnen. Bei den Schwingungen der Unruhe dreht sich der Zylinder regelmäßig nach rechts und nach links. Jeder Zahn des Zylinderrades stößt mit seiner Spitze gegen den äußeren Umfang des Zylinders und wird dadurch gehemmt; bei der Drehung des Zylinders wird der Zahn frei und gleitet an dem Rande der

Höhlung vorbei; er stöfst darauf gegen die innere Wand des Zylinders, wird zum zweitenmal gehemmt und gleitet dann, während der Zylinder sich zurückdreht, an dem anderen Rand der Höhlung vorbei. Solange ein Zahn mit der äufseren oder inneren Wand des Zylinders in Berührung ist, bleibt das Zylinderrad stillstehen. Diese Hemmungen treten nach gleichen Zeitteilchen ein, und die Bewegung des Räderwerks wird eine gleichförmig absetzende. So oft ein Zahn an dem Rand der Höhlung dahingleitet, übt er gegen denselben einen Druck aus und gibt dem Zylinder einen Antrieb, sich weiterzubewegen, so dafs die Feder ihre Schwingungen fortsetzt; Zylinder oder Zylinderrad machen die ruhende oder Zylinderhemmung aus; aufserdem gibt es die Ankerhemmung und die veraltete Spindelhemmung.

§ 93. Einrichtung einer Uhr.

Eine Zylinderuhr kann folgende Einrichtung haben. Von der das Werk treibenden Uhrfeder A (Fig. 189), welche von einem zylinderförmigen Gehäuse, dem Federhaus, umgeben wird, kann das äufsere Ende fest sein. Das innere Ende der Feder ist an dem Federstift T befestigt; derselbe hat oben einen viereckigen Zapfen, welcher zum Aufziehen der Uhr mittels des Uhrschlüssels dient. Ist dadurch die Feder zusammengerollt, so strebt sie, sich wieder aufzurollen und dreht den Federstift und das an ihm befindliche Federhausrad C um, das 80 Zähne hat. Dieses Rad greift in das Getriebe D mit 10 Zähnen, welches das Grofsbodenradgetriebe heifst. Die Getriebe haben ihre Namen von den Rädern, welche mit ihnen an derselben Welle befestigt sind. Durch die Welle des Getriebes D wird das mit 64 Zähnen versehene Minuten- oder Grofsbodenrad E bewegt, dessen Welle über dem Zifferblatt den Minutenzeiger trägt. Das Minutenrad überliefert die Bewegung dem Kleinbodenradgetriebe mit 8 Zähnen und dadurch auch dem Kleinbodenrade G mit 60 Zähnen. Das Kleinbodenrad dreht das Sekundenradgetriebe mit 8 Zähnen und dadurch das mit 60 Zähnen versehene Sekundenrad J. Das Sekundenrad greift in das Zylinderradgetriebe mit 6 Zähnen und dreht dadurch das Zylinder- oder Hemmungsrad K, welches in der Regel 15 Zähne hat. Die Zähne des Zylinderrades werden gehemmt durch den sich hin und her drehenden Zylinder L, und dieser bildet die Achse der Unruhe M, an der die regulierende Spiralfeder N angebracht ist.

Fig. 189.



Bei einem Umlauf des Zylinderrades K wird jeder Zahn desselben durch den sich hin und her drehenden Zylinder L zweimal gehemmt. Ein Zylinderrad K mit 15 Zähnen dreht sich daher bei 30 Schwingungen der Unruhe M einmal um. Führt nun die Unruhe in jeder Sekunde 5 Schwingungen aus, so gebraucht sie zu 30 Schwingungen 6 Sekunden, und das Zylinderrad samt seinem Getriebe vollendet in 6 Sekunden einen Umlauf. Das Sekundenrad J hat 10mal so viel Zähne als das Zylinderradgetriebe und gebraucht zu einer Umdrehung die 10fache Zeit, 60 Sekunden oder eine Minute. Das Sekundenradgetriebe greift in das Kleinbodenrad G ein; dasselbe ist mit $7\frac{1}{2}$mal so viel Zähnen versehen und dreht sich in $7\frac{1}{2}$ Minute um. Das Getriebe des Kleinbodenrades mit 8 Zähnen greift in das Minutenrad E mit 64 Zähnen. Dieses vollendet daher samt dem Minutenzeiger in der 8fachen Zeit, in $8 \times 7\frac{1}{2} = 60$ Minuten, oder in einer Stunde einen Umlauf. Sein Getriebe D greift in das 8mal so grofse Federhausrad C; dasselbe verwendet zu einer Umdrehung die 8fache Zeit, 8 Stunden, und dreht sich in 24 Stunden 3mal um.

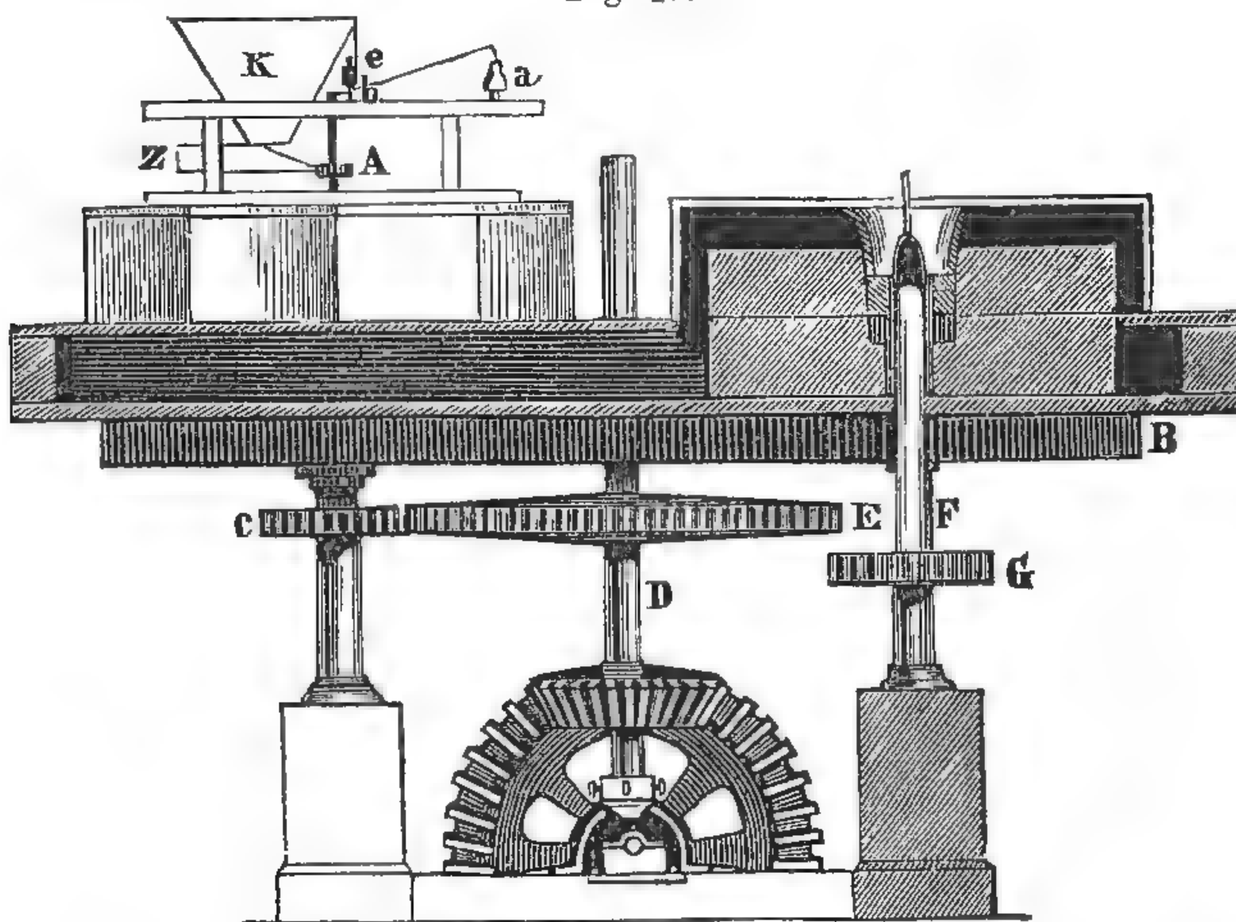
Unter dem Zifferblatt ist das Räderwerk für den Stundenzeiger angebracht, der in 12 Stunden einen Umlauf vollenden soll. Das Getriebe P an der verlängerten Achse des Minutenrades heifst das Viertelrohr und hat 10 Zähne; es dreht sich mit dem Minutenrad E in einer Stunde einmal um und überträgt die Bewegung

dem Wechselrad Q mit 30 Zähnen, das samt dem Wechselradgetriebe R zu einem Umlauf 3 Stunden gebraucht. Dies Getriebe hat 8 Zähne und dreht das mit 32 Zähnen versehene Stundenrad S in der 4fachen Zeit, also in 12 Stunden einmal um. Die Achse des Stundenrades ist eine hohle, über die Achse des Minutenrades mit hinreichendem Spielraum geschobene Röhre und trägt den Stundenzeiger.

§ 94. Einrichtung einer Mühle.

Eine andere sehr bekannte zusammengesetzte Maschine ist die **Mühle**, deren Arbeit die Zerkleinerung des Getreides ist (Fig. 190). Die Bewegung der Kraftmaschine muſs so zu den Mühlsteinen fortgeleitet werden, daſs deren Geschwindigkeit hinreichend groſs wird. Die Welle des Wasserrades dreht ein groſses Kegelrad, das einem kleineren, an der lotrechten Welle D befindlichen seine Bewegung überträgt. Das an derselben Welle befestigte Sternrad E hat zwei Mahlgänge in Bewegung zu setzen; der zur Linken ist in Tätigkeit, wogegen das Getriebe G verschoben und in Ruhe gesetzt ist. Die Welle F ist durch den Boden B und den festliegenden unteren Mühlstein, den Bodenstein, hindurchgeführt und trägt den oberen, den Läufer, der zugleich mitumläuft. In die einander zugekehrten Flächen der Steine sind Rinnen gehauen, die das Korn zerschneiden. In seinem Mittelpunkte hat der Läufer eine Öffnung, das Läuferauge, zum Teil verschlossen durch einen eisernen Steg, teilweise geöffnet für das hineinfallende Getreide, das zwischen die Steine gelangt und gemahlen am Rande der Steine in einen verschlossenen Raum und aus diesem durch eine Öffnung in das Beutelwerk fällt. Das Beutelwerk schüttelt die Mühle durch einen Krummzapfen und eine Pleuelstange und siebt durch die Maschen das Mehl aus. Geschüttet wird das Korn in den trichterförmigen, unten durch den Schuh Z fast verschlossenen Rumpf K; die Welle des Läufers trägt oben einige Stäbe A, die an den Schuh stoſsen und die Körner nötigen, hineinzugleiten. Ist der Rumpf fast leer, so ertönt eine Glocke a. Von dieser führt nämlich eine Schnur zu dem Pflocke e und über eine Rolle in den Rumpf K; hier ist ein leichtes Stück Holz daran gebunden und unter das Getreide gesteckt; hat dasselbe sehr abgenommen, so kann es das Holz nicht mehr zurückhalten, der Pflock e sinkt und wird von dem an der Welle befindlichen Stabe b bei jeder Umdrehung angestoſsen, so daſs die Glocke ertönen muſs.

Fig. 190.



C. Wirkungen der Schwerkraft auf tropfbarflüssige Körper.

§ 95. Die sehr geringe Kohäsion tropfbarflüssiger Körper.

Die tropfbaren Flüssigkeiten haben Kohäsion (§ 74); denn kleine Mengen derselben würden sonst in feinen Staub zerfallen; aber sie bilden Tropfen, wie Regen- und Tautropfen. Wenn man ferner ein benetztes Stäbchen schnell aus dem Wasser hebt, so zieht das Stäbchen einen Wasserfaden nach sich, indem ein Wasserteilchen sich an das andere hängt. **Aber die Kohäsion einer Flüssigkeit ist sehr gering,** und ihre Teile lassen sich durch die kleinste Kraft verschieben und voneinander trennen. Wird eine Flüssigkeit auf eine horizontale Fläche gegossen, so bewirkt die Schwerkraft ein Auseinander-

fliefsen der Flüssigkeitsteilchen. Dies Auseinanderfliefsen hindern die Seitenwände des Gefäfses, in welches eine Flüssigkeit gegossen wird; daher nehmen tropfbarflüssige Körper die Form ihrer Behälter an; eine selbständige Gestalt besitzen sie nicht. Wegen der grofsen Beweglichkeit einer Flüssigkeit gelten über ihre ruhende oder bewegte Oberfläche und über ihren Druck besondere Gesetze.

a) Die ruhende Oberfläche und die Wellenbewegung einer tropfbaren Flüssigkeit.

§ 96. Die ruhende Oberfläche einer tropfbaren Flüssigkeit.

Die Beobachtung einer tropfbaren Flüssigkeit in einem Glase und des Wasserspiegels in Seen und Teichen lehrt folgendes:

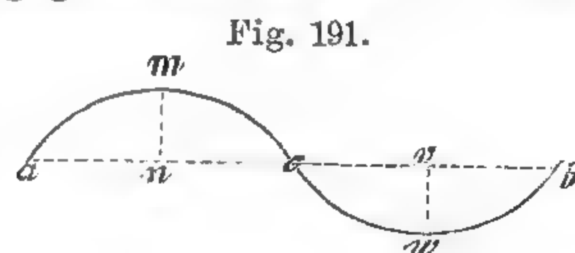
Die Oberfläche jeder tropfbaren Flüssigkeit bildet im Zustande der Ruhe eine wagerechte Ebene.

Ist in einer Wasserfläche eine Erhöhung hervorgebracht, so kann dieselbe nicht für die Dauer bleiben; sondern die emporgehobenen Wasserteile werden durch die Schwerkraft genötigt, von der Höhe, wie von einer schiefen Ebene, hinabzufliefsen, bis der Wasserspiegel wieder horizontal wird. Die ruhende Oberfläche des Meeres ist aber nicht als eben zu betrachten, sondern bildet wegen der Kugelgestalt der Erde und der Schwere, die auf das Wasser wirkt, eine kugelförmig gekrümmte Fläche.

§ 97. Die Wellenbewegung einer tropfbaren Flüssigkeit.

1. Wenn eine Wasserfläche durch Wind oder einen Stein einen Stofs erleidet, so werden Wasserteile hinabgedrückt, und es entsteht ein Wellental. Der Druck pflanzt sich von unten wieder nach oben fort und erzeugt rings um das Wellental einen ringförmigen Wellenberg. Wegen ihrer Schwere sinken die Teile des Wellenbergs hinab, und zwar infolge des Beharrungsgesetzes bis unter den Wasserspiegel, und bilden ein ringförmiges Wellental. Wellenberg und Wellental bilden (Fig. 191) eine Welle. Die Breite *ac* des Wellenberges und die Breite *cb* des Wellentales machen zusammen die Wellenlänge aus. Zugleich verbreitet sich fortschreitend der Druck des sinkenden Wassers und erzeugt rings um das Tal einen Wellenberg von gröfserem Umfange. Auch die Teile dieses Wellenbergs sinken wieder und drücken die sie umgebenden Wasserteile nach oben. So verbreitet sich vom Ausgangspunkt der Welle fortschreitend eine auf und nieder gehende, schwingende Bewegung der Wasserteile. **Die Wellenbewegung des Wassers besteht in einer auf und ab schwingenden Bewegung der Wasserteile, welche vom Erregungspunkte aus nach allen Seiten fortschreitet.** Ein Stückchen Holz bewegt sich auf den Wellen eines stehenden Gewässers nur hinab und hinauf, nimmt aber nicht an der fortschreitenden Bewegung der Wellen teil. Nicht die Wasserteile schreiten fort, sondern der Bewegungszustand; es werden die entfernteren Wasserteilchen später als die näheren in schwingende Bewegung gesetzt. Ganz ähnlich den Wasserwellen sind die vom Winde erzeugten Wellen eines wogenden Ährenfeldes.

Fig. 191.

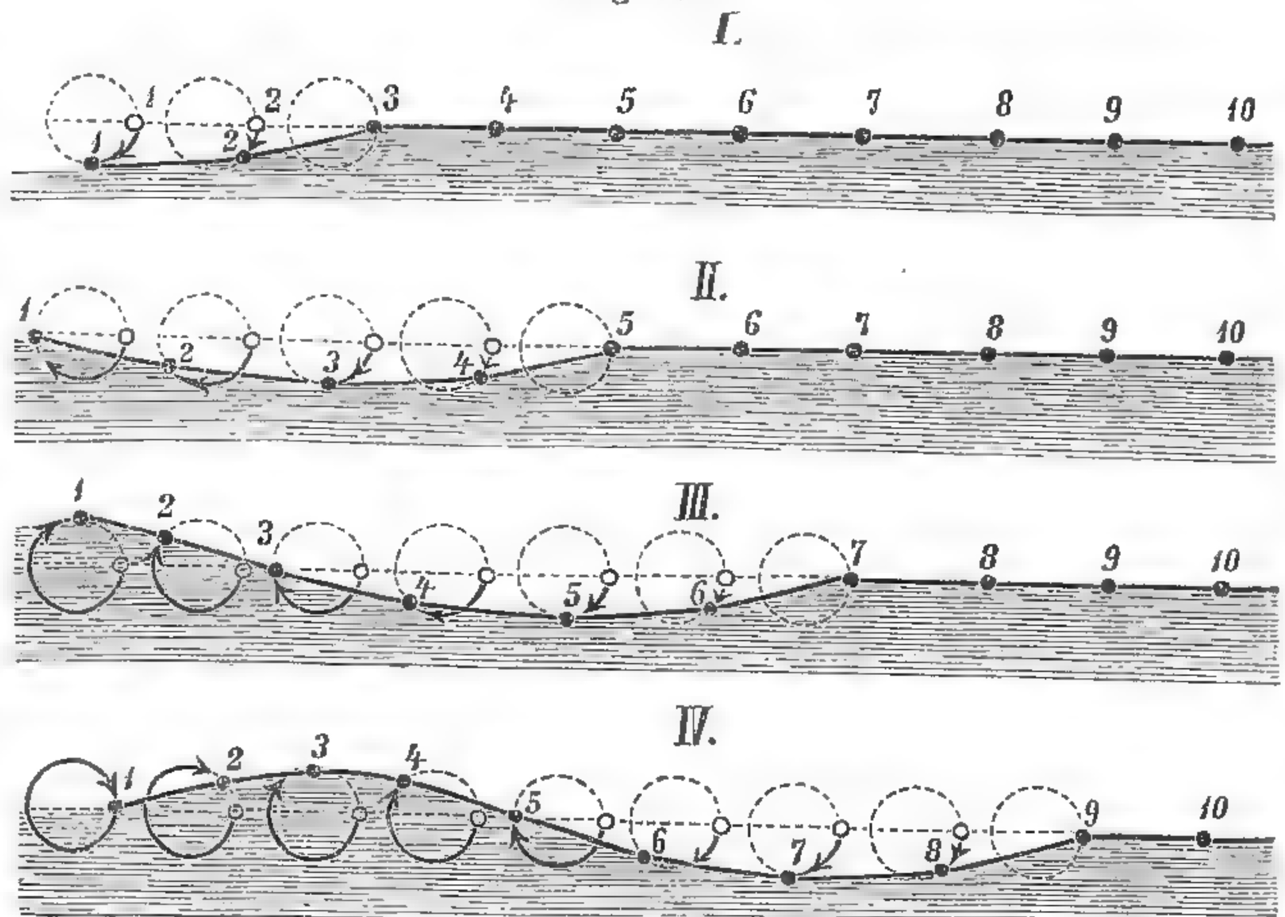


2. Durchkreuzen sich zwei Wellen, die von verschiedenen Punkten ausgehen, so entsteht durch das Zusammentreffen zweier Wellenberge gleicher Höhe ein Berg von doppelter Höhe und durch das Zusammentreffen zweier Täler gleicher Tiefe ein Wellental von doppelter Tiefe; wenn aber ein Wellenberg mit

einem gleich tiefen Wellental zusammenfällt, so gleichen sich beide aus, und es entsteht eine ruhende, ebene Fläche. In ganz entsprechender Weise ist der Vorgang, wenn zwei Wellen verschiedener Höhe zusammentreffen. Die wirklich entstehende Welle ist stets so beschaffen, als ob sich die eine Welle über die andere gelagert hätte. Die gegenseitige **Beeinflussung zweier Wellenzüge** heifst **die Interferenz der Wellen** (von dem englischen to interfere, zusammenstofsen).

3. Wenn eine Welle an eine Wand mit einer Öffnung schlägt, so geht der mittlere Teil der Welle ungehindert hindurch; an den beiden Seiten der Öffnung aber steigt die Flüssigkeit empor und bildet beim Hinabsinken die Ausgangspunkte von zwei neuen Wellen. Indem dieselben sich mit den ursprünglichen Wellen vereinigen, verbreitern sich diese, so dafs sich hinter der Öffnung der Wand Wellen bilden, die breiter sind als die Wellenteile der ursprünglichen Welle, welche durch die Öffnung hindurchgegangen sind. Die Verbreiterung einer durch eine Öffnung gehenden Welle heifst **die Beugung der Welle.** Mit derselben ist eine Interferenz verbunden.

Fig. 192.



Die Professoren Weber haben (1825) gezeigt, dafs sich die einzelnen Teilchen einer Wasserwelle in kreisförmigen oder elliptischen Bahnen auf und nieder bewegen. Jedes in der Fortpflanzungsrichtung der Welle gelegene Teilchen beginnt seine Kreisbewegung um so später, je weiter es von der Anfangsstelle der Wellenbewegung entfernt ist. In Fig. 192 (I, II, III, IV) sind zehn Teilchen gezeichnet, von denen jedes folgende in seiner Kreisbewegung um den achten Teil der Kreislänge hinter dem vorhergehenden zurück ist. Die volle Kreisbewegung eines Teilchens heifst eine Schwingung. Je nachdem das erste Teilchen $1/4$, $1/2$, $3/4$ oder eine ganze Schwingung vollführt hat, ist die Welle in ihrer Richtung um $1/4$, $1/2$, $3/4$ oder die ganze Wellenlänge fortgeschritten. Macht das erste Teilchen hintereinander in einer Sekunde n Schwingungen, so schreitet die Welle, deren Länge l (etwa in mm gemessen) betrage, in einer Sekunde um $n \cdot l$ (mm) fort; der Fortschritt der Welle in einer Sekunde ist aber die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wellenbewegung. Es gilt der Satz: Man erhält die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wellenbewegung, wenn man die Wellenlänge mit der Zahl der Schwingungen, welche ein Teilchen in einer Sekunde vollführt, vervielfältigt.

Alle Wellen, bei denen, wie bei den Wasserwellen, die einzelnen Teilchen quer zur Fortpflanzungsrichtung der Welle schwingen, heifsen **Querwellen** oder **Transversalwellen.**

b) Der Druck einer tropfbaren Flüssigkeit.

§ 98. Die Verbreitung des Drucks in einer Flüssigkeit.

1. Wenn man in die Wände eines sonst überall verschlossenen Gefäfses (Fig. 193) an beliebigen Stellen Röhren mit passenden Kolben a, b, c, d einfügt, das Gefäfs ganz mit Wasser füllt und nun auf einen der Kolben einen Druck ausübt,

so bewegen sich alle übrigen Kolben. Die gedrückten Teile der Flüssigkeit suchen wegen ihrer grofsen Beweglichkeit nach allen Seiten auszuweichen, und deshalb verbreitet sich in der Flüssigkeit der Druck nach allen Richtungen. Hat jeder der Kolben eine Fläche von 1 Quadratcentimeter, und wird einer derselben *a* mit 1 kg belastet, so mufs man gegen jeden der anderen Kolben den Druck von 1 kg ausüben, damit er sich nicht bewegt. Der Druck verbreitet sich also nach allen Richtungen mit gleicher Stärke. Es gilt **das Stevinsche** (1548—1620) **Gesetz: Jeder auf eine Flüssigkeit ausgeübte Druck verbreitet sich in derselben nach allen Richtungen mit gleicher Stärke.**

Belastet man einen Kolben *a* mit 1 kg, und hat ein anderer Kolben *d* (Fig. 193) eine dreimal so grofse Fläche, so mufs man gegen diesen einen Druck von 3 kg

Fig. 193.

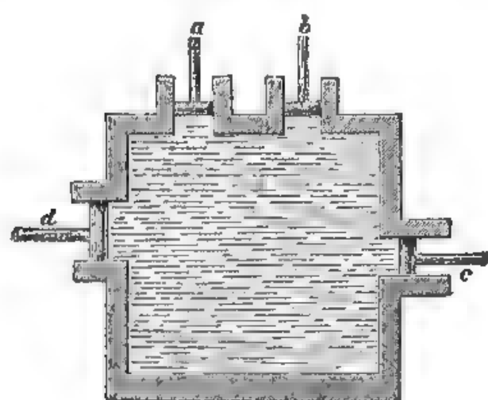


Fig. 194.

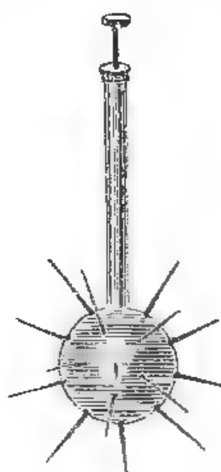
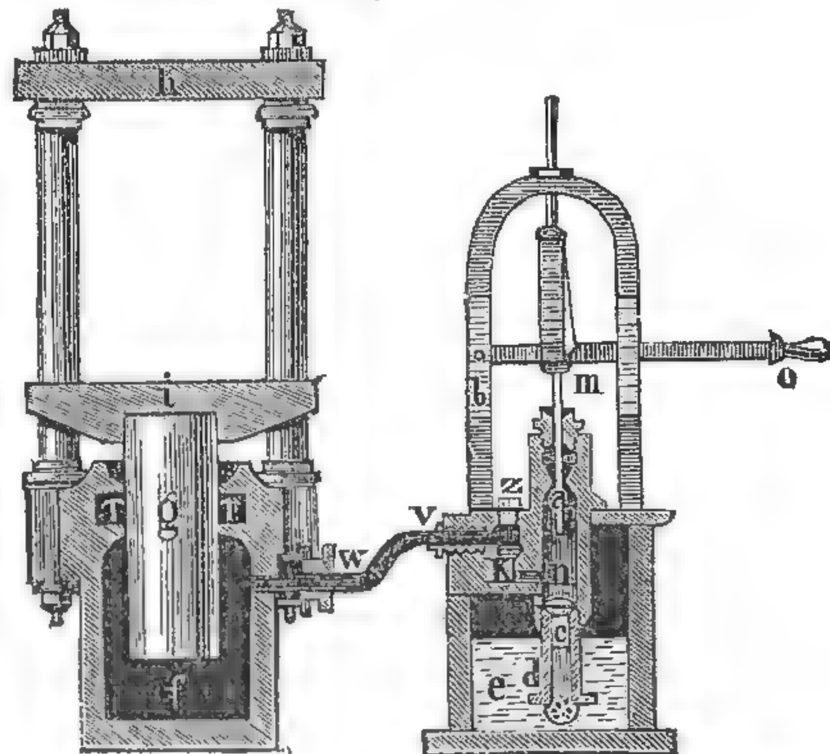


Fig. 195.



ausüben, damit er sich nicht bewegt. Eine dreimal so grofse Fläche erleidet daher einen dreimal so grofsen Druck. Je gröfser überhaupt die gedrückte Fläche ist, desto gröfser ist der Druck, den sie erleidet. Leicht sichtbar läfst sich die Verbreitung eines nur in einer Richtung auf eine eingeschlossene Wassermenge ausgeübten Druckes nach allen Seiten hin mittels des mit einer durchlöcherten Kugel versehenen Druckapparates (Fig. 194) machen.

2. Eine Anwendung von der gleichmäfsigen Verbreitung des Druckes in einer eingeschlossenen Flüssigkeit ist **die hydraulische oder Brahmasche Presse** (Fig. 195). Dieselbe besteht aus zwei eisernen Zylindern von sehr ungleicher Weite, welche durch eine Röhre *vw* miteinander verbunden sind. Der engere Zylinder *n* hat die Einrichtung einer Druckpumpe (§ 113, 2); sein Kolben, der Druckkolben *a*, läfst sich mittels eines einarmigen Hebels *bo* auf und nieder bewegen. Der weitere Zylinder, der Prefszylinder *f*, ist gleichfalls mit einem Kolben, dem Prefskolben *g*, versehen; oben auf die von demselben getragene Platte *i* werden die zu pressenden Stoffe, Zeug oder Papier, gelegt und werden gegen eine andere, über ihr an dem Gestell der Presse befestigte Platte *h* gedrückt. Beide Zylinder werden mit Wasser gefüllt. Übt man dann mittels des Hebels und des Druckkolbens einen Druck auf die Flüssigkeit aus, so verbreitet sich derselbe bis zum Prefskolben; hat dieser einen 400mal gröfseren Querschnitt als der Druckkolben, so erleidet der Prefskolben einen 400mal so grofsen Druck. Was man aber an Druck gewinnt, verliert man am Wege (§ 64), und so oft man mit der Druckpumpe in den Prefszylinder Wasser prefst, steigt der Prefskolben nur eine sehr kleine Strecke.

§ 99. Der Druck einer Flüssigkeit auf den Boden eines Gefäfses.

Weil eine Flüssigkeit Gewicht hat, übt sie auf den Boden des Gefäfses, in dem sie sich befindet, einen Druck aus. Ist das Gefäfs überall gleich weit, und sind seine Wände lotrecht, so hat der Boden das Gewicht der Flüssigkeit zu tragen. Enthält ein würfelförmiges Gefäfs 1 Liter Wasser, so erleidet der Boden einen Druck von 1 kg. Enthält ein würfelförmiges Gefäfs 1 Kubikcentimeter Wasser, so erleidet der Boden einen Druck von 1 g. Der 9 Quadratcentimeter grofse Boden eines Zylinders von 10 cm Höhe erleidet einen Druck

von 9 × 10 = 90 g. Die Gröfse des Wasserdrucks auf den Boden beliebig gestalteter Gefäfse ist durch folgende Vorrichtung (Fig. 196) ermittelt worden; auf eine lotrecht befestigte kurze Messingröhre Nr. 1 lassen sich Gefäfse *A*, *B*, *C*, *D* ohne Boden von verschiedenen Gestalten, jedoch unten von gleicher Weite aufschrauben. Die Messingröhre Nr. 1 wird unten durch einen beweglichen Boden verschlossen, durch eine eben geschliffene Metallplatte, welche von dem einen Ende eines zweiarmigen Hebels aufwärts gedrückt wird. Man bezeichnet in der senkrechten, zylindrischen, überall gleich weiten Röhre *B* durch einen verschiebbaren Draht die Höhe der Wassersäule, welche gerade den beweglichen Boden hinabdrückt und losreifst. Dieselbe Wirkung zeigen die Wassersäulen in sich erweiternden oder verengernden Gefäfsen *A* und *C* und in dem gekrümmten Gefäfse *D*, wenn sie dieselbe Höhe haben.

Fig. 196.

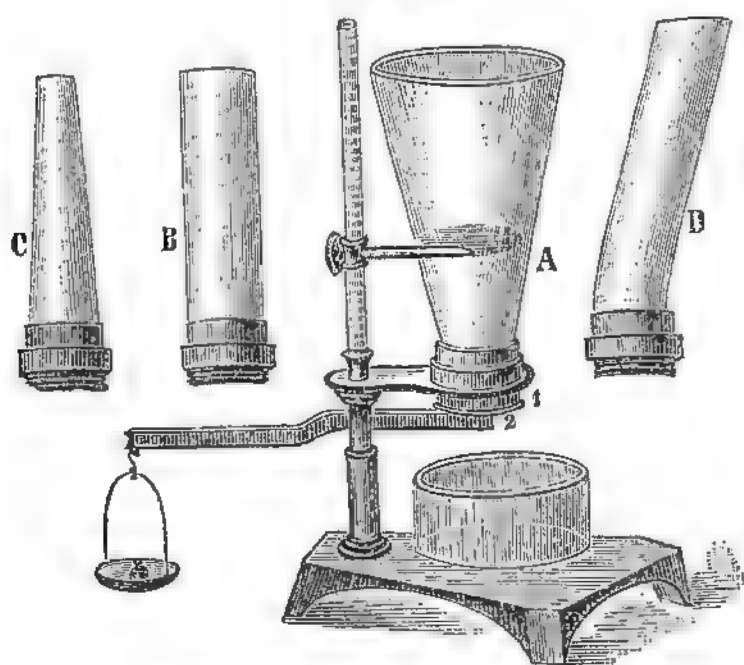
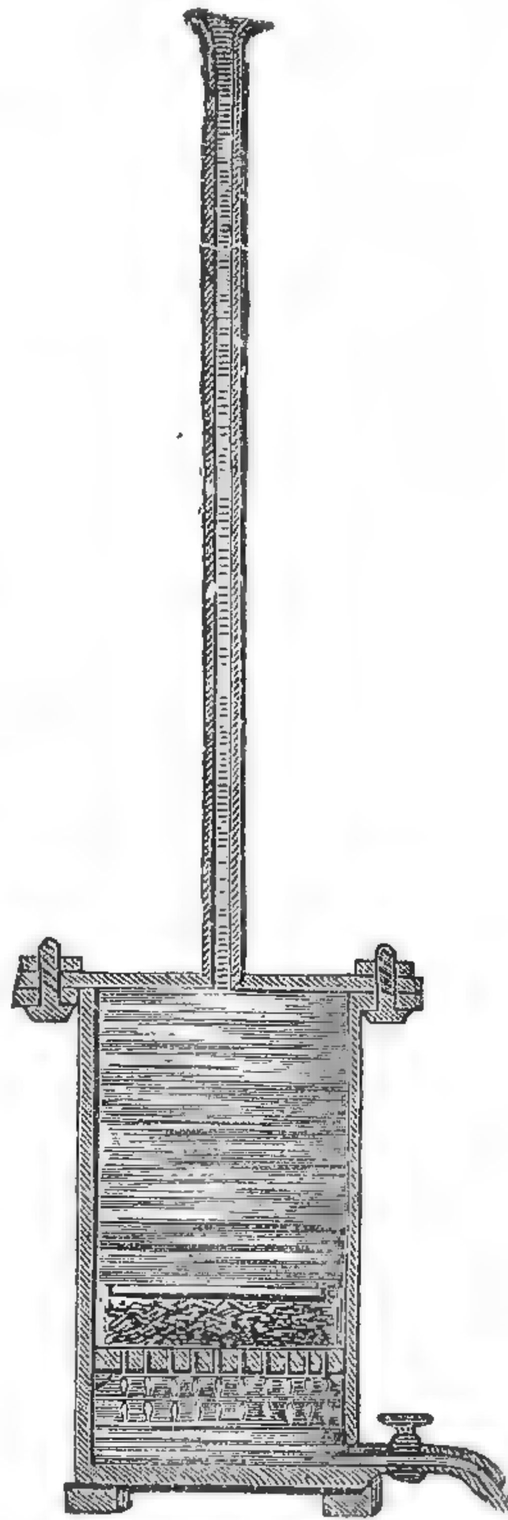


Fig. 197.



Gesetz: Die Gröfse des Wasserdruckes auf den Boden eines Gefäfses ist unabhängig von der Gefäfsgestalt; er ist immer gleich dem Gewicht einer Wassersäule, welche den Boden zur Grundfläche und den Abstand des Bodens vom Wasserspiegel zur Höhe hat.

Dafs in einem Gefäfs *B* mit lauter lotrechten Wänden der Boden die ganze Flüssigkeitssäule, die über ihm steht, tragen mufs, ist ohne weiteres klar; auch ist leicht verständlich, dafs in dem nach oben sich erweiternden Gefäfse *A* der Boden nur die sich lotrecht über ihm erhebende Flüssigkeitssäule trägt; die übrige Flüssigkeit wird von den schrägen Wänden getragen. Dafs in einem oben engeren Gefäfse *C* der Bodendruck gröfser ist als das Gewicht der darüber stehenden Flüssigkeit, erklärt sich aus der gleichmäfsigen Fortpflanzung des Druckes in der Flüssigkeit. Jedes Quadratcentimeter desjenigen Teiles der Bodenfläche, der lotrecht unter dem engeren Spiegel liegt, erhält einen Druck, der gleich dem Gewicht der lotrecht darüberstehenden Flüssigkeitssäule ist; der gleiche Druck verbreitet sich aber auch auf jedes andere Quadratcentimeter des Bodens, so dafs jedes Quadratcentimeter des Bodens gleichen Druck erhält, der somit gröfser wird als das Gewicht der Flüssigkeit.

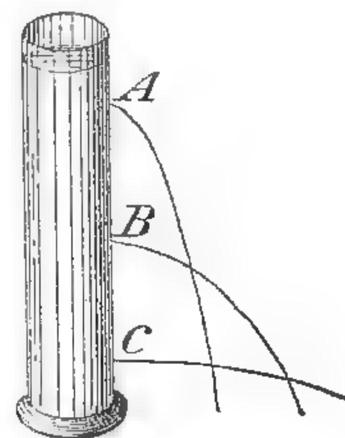
Folglich kann durch geringe Wassermengen ein grofser Druck ausgeübt werden. Eine Anwendung hiervon ist die zur Bereitung von Extrakten gebrauchte **Realsche Extraktpresse** (Fig. 197); in ein zylinderförmiges Gefäfs wird der auszuziehende Stoff zwischen zwei siebartig durchlöcherte Platten gebracht; der Deckel des Gefäfses wird fest aufgeschraubt und die ausziehende Flüssigkeit in die 1—3 m lange Röhre gegossen, die durch den Deckel lotrecht emporsteigt; der ausgezogene Saft läuft unten aus dem Gefäfs beim Öffnen eines Hahnes ab.

§ 100. Der Druck einer Flüssigkeit auf die Seitenwände.

1. Je tiefer eine wagerechte Wasserschicht unter dem Flüssigkeitsspiegel liegt, desto gröfser ist der Druck, welchen sie erleidet. Dieser Druck verbreitet sich in jeder wagerechten Schicht mit gleicher Stärke nach der rechten und linken,

der uns zugewandten und der von uns abgewandten Seite. Alle Teile einer Seitenwand, die in derselben wagerechten Ebene liegen, haben daher gleichen Druck auszuhalten, und dieser Druck ist desto gröſser, je tiefer eine Stelle unter dem Flüssigkeitsspiegel liegt. Deutlich sichtbar wird der verstärkte Druck an tiefergelegenen Stellen eines mit Wasser gefüllten Zylinders an den in horizontaler Richtung verschieden weit springenden Wurfparabeln, die durch kleine Seitenöffnungen herausspringen (Fig. 198). Der Druck des Wassers auf die Seitenwand eines Gefäſses ist desto gröſser, je gröſser der Abstand der gedrückten Stelle vom Wasserspiegel ist. Hohe Gefäſse für Flüssigkeiten, Wasserbassins, tiefgehende Wasserleitungen, Schleusen und Dämme müssen eine nach unten zunehmende Stärke erhalten.

Fig. 198.



Ein quadratförmiges Stück einer lotrechten Gefäſswand läſst sich durch wagerechte Linien in eine Anzahl schmaler Streifen zerlegen. Der mittelste dieser Streifen, in welchem der Schwerpunkt des quadratförmigen Stückes liegt, erleidet einen mittleren Wasserdruck. Der Streifen dicht über dem mittelsten erleidet einen etwas kleineren Druck; aber der Streifen dicht unter dem mittelsten erfährt einen Druck, welcher um ebenso viel gröſser ist als der mittlere Druck. Um wieviel der Druck gegen einen über der Mitte befindlichen Streifen kleiner ist als der mittlere Druck, um ebenso viel ist der Druck gegen einen ebenso weit unter der Mitte befindlichen Streifen gröſser als der mittlere Druck. Und das Ergebnis ist dasselbe, als wenn alle Streifen oder das ganze Viereck überall den mittleren Druck erlitten, oder als wenn das Viereck in der Höhe seines Schwerpunktes wagerecht läge. Der Druck des Wassers auf eine wagerechte Fläche ist aber gleich dem Gewicht einer Wassersäule, welche die Fläche zur Grundfläche und ihren Abstand vom Wasserspiegel zur Höhe hat. Der mittlere Druck ist daher gleich dem Gewicht einer Wassersäule, welche die gedrückte Stelle der lotrechten Gefäſswand zur Grundfläche und den Abstand ihres Schwerpunktes vom Wasserspiegel zur Höhe hat. Daraus folgt: **Der Druck des Wassers auf eine Stelle der Seitenwand ist gleich dem Gewicht einer Wassersäule, welche die gedrückte Stelle zur Grundfläche und den Abstand ihres Schwerpunktes vom Wasserspiegel zur Höhe hat.** In einem ganz gefüllten hohlen Würfel ist der Druck einer Flüssigkeit auf jede Seitenwand halb so groſs als der Druck auf den Boden.

2. Ein hängendes Gefäſs (Fig. 199), das unten eine Seitenöffnung hat, bewegt sich, wenn man Wasser eingieſst, aus der lotrechten Stellung nach der der Öffnung gegenüberliegenden Seite. Das Wasser unten im Gefäſs würde nach allen Seiten einen gleich groſsen Druck ausüben; nach der einen Seite flieſst es aber aus und bewirkt an dieser Stelle keinen Druck; der Druck des Wassers auf die der Öffnung gegenüberliegende Seitenwand ist gröſser und bewegt das Gefäſs. Dieser Druck, der eine Folge des auf einer Seite ausflieſsenden Strahles ist, heiſst die **Rückwirkung** oder Reaktion des Strahles. **Ist eine Seitenwand eines mit Wasser gefüllten Gefäſses mit einer Öffnung versehen, so ist der Druck des Wassers auf die der Öffnung gegenüberliegende Seitenwand gröſser.** Das **Segnersche Wasserrad** (Fig. 200) ist ein mit Wasser gefüllter, oben offener Zylinder

Fig 199.

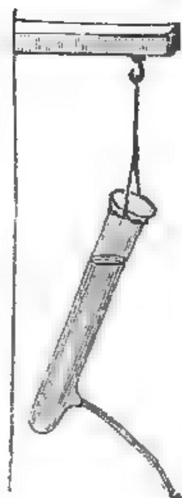
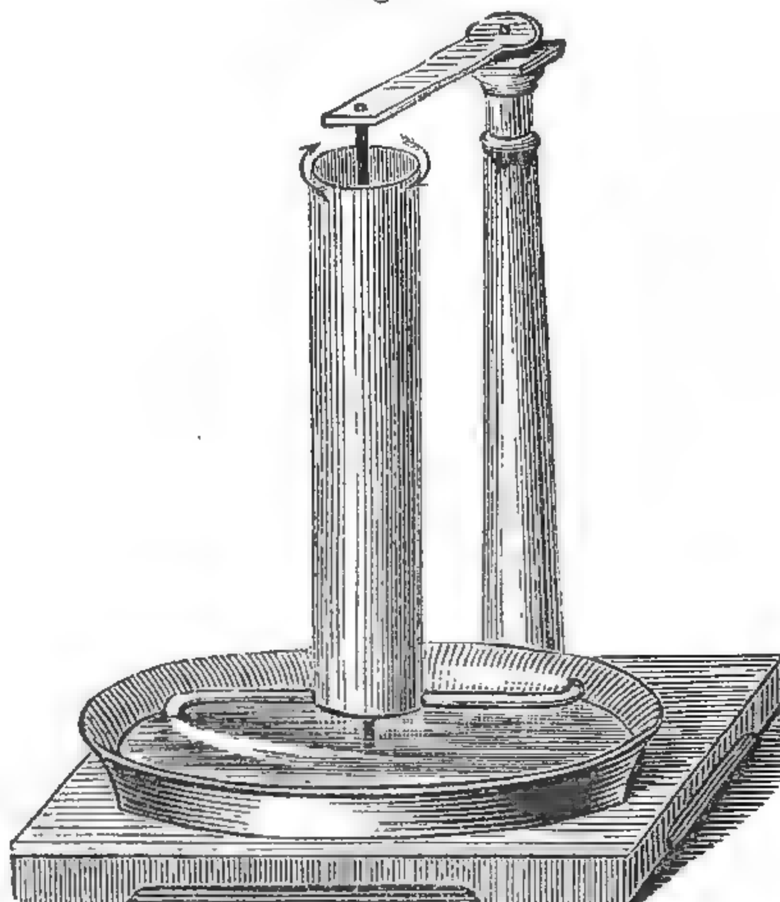


Fig. 200.

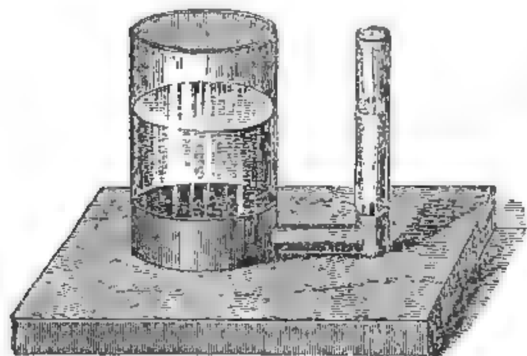


mit unten angebrachten Seitenröhren, von denen jede auf derselben Seite eine Ausflußöffnung hat. Der Rückdruck des ausströmenden Wassers dreht den Zylinder um seine lotrechte Achse. Eine Anwendung bilden die Reaktionsturbinen.

§ 101. Zusammenhängende Röhren oder Gefäße.

Ein in ein Becherglas geschobenes Brettchen, das an die Seitenwände anschließt, aber nicht ganz bis auf den Boden hinabreicht, teilt das Glas in zwei Gefäße, aus deren einem Wasser unten in das andere gelangen kann; es stellt sich in beiden gleich hoch. Eine weite in ein Glas getauchte offene Röhre gestattet der Flüssigkeit in dem Glase ebenfalls den Zutritt; die Wasseroberflächen in Glas und Röhre liegen in einer wagerechten Ebene. Dasselbe nehmen wir an einer weiten Glasröhre wahr, die mit einer engeren unten in Verbindung steht (Fig. 201). Röhren oder Gefäße, die unten so miteinander verbunden sind, daß eine Flüssigkeit aus der einen in die andere gelangen kann, heißen **zusammenhängende** (auch kommunizierende) **Röhren oder Gefäße.** Aus allen Versuchen und Beobachtungen ergibt sich das Gesetz:

Fig. 201.

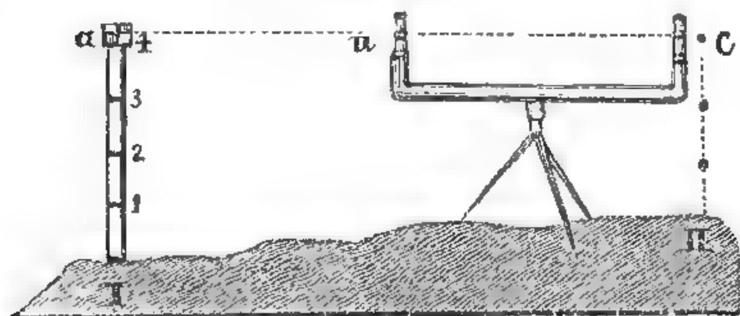


In zusammenhängenden Röhren oder Gefäßen steht eine Flüssigkeit gleich hoch. Die Oberflächen einer Flüssigkeit in zusammenhängenden Gefäßen liegen in derselben wagerechten Ebene.

Bestehen die zusammenhängenden Röhren aus einer U-förmig gebogenen Röhre, die überall gleich weit ist, so ist die Erscheinung sehr begreiflich, da auf beiden Seiten in den Schenkeln der Röhre gleiche Gewichtsmengen sind, die sich gegenseitig im Gleichgewicht halten. Ist, wie in Fig. 201, eine Röhre eng, die andere weit, so denke man sich in der wagerechten Verbindungsröhre einen lotrechten Querschnitt. Dieser Querschnitt hat nach dem vorigen Paragraphen von rechts und links einen Druck auszuhalten, der sowohl rechts als links gleich ist dem Gewicht je einer Flüssigkeitssäule, die diesen Querschnitt zur Grundfläche und den Abstand des Schwerpunktes dieses Querschnittes von dem rechten bezw. linken Flüssigkeitsspiegel zur Höhe hat. Da die Grundfläche beider Flüssigkeitssäulen dieselbe ist, so kann deren Gewicht nur gleich sein, wenn auch die Höhen gleich sind. Daher wird Gleichgewicht in den zusammenhängenden Röhren erst eintreten, wenn beide Spiegel gleich hoch liegen.

Anwendungen dieses Gesetzes sind folgende: 1) **Das Nivellierinstrument** oder die Kanalwage (Fig. 202) besteht aus zwei weiten, lotrecht aufgestellten Glasröhren, welche durch eine etwa 1 m lange, wagerechte Metallröhre miteinander verbunden sind. Sie wird mit Wasser gefüllt, dessen Oberflächen *u* und *c* die wagerechte Richtung angeben, und dient, zu bestimmen, wieviel eine Strecke des Erdbodens von der wagerechten Richtung abweicht. Liegt eine mit I bezeichnete Stelle $1^1/_3$ m, eine andere mit II bezeichnete Stelle 1 m unter der von dem Instrumente angegebenen horizontalen Lage *auc*, so liegt die erste $^1/_3$ m tiefer.

Fig. 202.



2) **Wasserleitungen,** welche aus hoch gelegenen Sammelbehältern (Hochbehälter, Wassertürme) durch Röhrenleitungen Wasser in hohe Stadtteile und Stockwerke führen. 3) In den **Springbrunnen** kommt das Wasser gleichfalls aus einem hochgelegenen Behälter durch eine Röhrenleitung herab; weil der andere Teil der Röhre kürzer ist, springt das Wasser empor, erreicht aber wegen der Reibung an der Ausflußöffnung, des Widerstandes der Luft und der Schwere des herabfallenden Wassers nicht ganz die Höhe des Behälters. Einen Springbrunnen im kleinen veranschaulicht Fig. 203. **Die artesischen Brunnen** (Fig. 204) heißen nach der Grafschaft Artois in Nordfrankreich, wo sie häufig sind. *S* und *F* sind für

Wasser undurchlässige Schichten, zwischen denen eine Kiesschicht *W* liegt, welche voll Wasser ist, weil sie oben an einer Stelle zutage liegt und Regenwasser aufnimmt. Nach dem Gesetz der zusammenhängenden Röhren steigt Wasser aus dem Bohrloche auf, das bis zur Kiesschicht hinunterführt. Der artesische Brunnen zu Grenelle bei Paris ist 647 m tief, der zu Neusalzwerk bei Minden ist 696 m, der in Grofszössen in Sachsen 97 m tief.

Fig. 203.

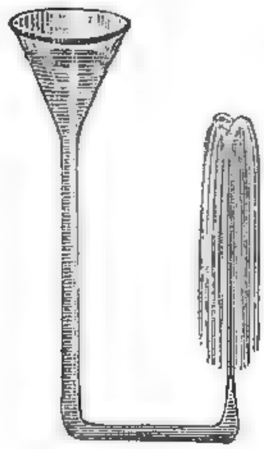
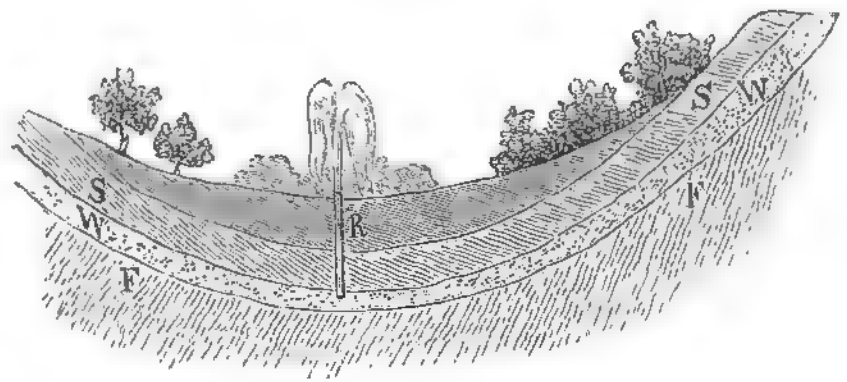


Fig. 204.



§ 102. Adhäsion. Benetzung. Kapillarität. Diffusion und Osmose.

1. **Adhäsion.** Vom Bleistift abgeschabter, auf Papier geschütteter Graphit haftet zum Teil, wenn das Blatt gewendet wird. Staub und Rufs haften an Wänden, Kreide an der Tafel, Tau an Gewächsen, Tinte am Papier. Wasser läuft beim Ausgiefsen leicht an der Aufsenwand des Gefäfses hinab. Bei gegenseitiger Berührung haften feste Körper an festen und flüssige an festen Körpern; aber auch Gase haften an festen und flüssigen Körpern. Die Kraft, welche bewirkt, dafs Teile sich berührender Körper aneinander haften, heifst **die Adhäsion** oder die **Anhangskraft.** Die Adhäsion wird benutzt beim Vergolden, Versilbern, Verzinnen usf., beim Zeichnen, Malen, Schreiben, beim Gebrauch von Siegellack, Leim, Mörtel, Kleister, beim Löten u. a. m.

2. **Benetzung und Abweichungen an der Flüssigkeitsoberfläche.** Taucht man einen reinen Glasstab in Wasser, so zeigt er sich beim Herausheben mit einer dünnen Wasserschicht bedeckt oder benetzt. Von dem Glase angezogen, haften an ihm Teile des Wassers, und die Anziehungskraft der übrigen Wasserteile ist zu klein, um das Wasser vom Glase loszureifsen. Die Adhäsion zwischen Wasser und Glas ist gröfser als die Kohäsion der Flüssigkeit; darum bleibt Wasser am Glase haften und benetzt es. Taucht man dagegen einen Glasstab in **Quecksilber,** so haftet beim Emporheben fast kein Quecksilber am Stabe; er ist nicht benetzt. Zwar wird Quecksilber bei der Berührung von Glas angezogen, aber die Anziehung der Quecksilberteilchen untereinander ist gröfser als ihre Adhäsion am Glas. Ist daher die Adhäsion zwischen einem festen und einem flüssigen Körper gröfser als die Kohäsion der Flüssigkeit, so **benetzt** diese den festen Körper. Ist dagegen die Adhäsion zwischen beiden kleiner als die Kohäsion der Flüssigkeit, so wird der feste Körper **nicht benetzt.**

Wenn sich nun eine Flüssigkeit in einem Gefäfse befindet, so benetzt sie entweder dasselbe, oder sie benetzt es nicht. Dadurch entstehen an den Gefäfswänden verschiedene Abweichungen der Flüssigkeitsoberfläche von der Form einer wagerechten Ebene. Eine das Gefäfs benetzende Flüssigkeit wird in der Nähe der Gefäfswand von dieser stärker angezogen als von der übrigen Flüssigkeit, sie steigt daher an den Gefäfswänden etwas empor, wobei sich dort eine hohle oder konkave Krümmung der Oberfläche bildet. Eine das Gefäfs nicht benetzende Flüssigkeit wird stärker nach dem Inneren der Flüssigkeit hingezogen, als nach der Gefäfswand, daher senkt sich die Flüssigkeit an den Wänden etwas, so dafs dort eine gewölbte oder konvexe Krümmung der Oberfläche entsteht.

3. Kapillarität. In Röhren von weniger als 1 cm Durchmesser hat die ganze Oberfläche einer benetzenden Flüssigkeit eine hohle oder konkave Krümmung (Fig. 205), die Oberfläche einer nicht benetzenden Flüssigkeit hingegen eine erhabene oder konvexe Krümmung (Fig. 206). Sehr enge Röhren werden Haar- oder Kapillarröhrchen genannt, und die Erscheinungen in ihnen werden als **Haarröhrchenwirkungen oder Erscheinungen der Kapillarität** bezeichnet. In einer zusammenhängenden Röhre, deren einer Schenkel eine Haarröhre ist, steigt eine benetzende Flüssigkeit in der engeren Röhre beträchtlich über den Spiegel der Flüssigkeit in der weiteren Röhre empor (Fig. 207). Ebenso steht in einer eingetauchten Haarröhre eine sie benetzende Flüssigkeit höher als aufserhalb derselben. Diese Erscheinung heifst **die Haarröhrchenanziehung oder Kapillarattraktion.** Eine nicht benetzende Flüssigkeit steht in dem engen Teile einer zusammenhängenden Röhre, deren einer Schenkel eine Kapillarröhre ist, niedriger als in der weiteren Röhre (Fig. 208). Ebenso steht eine nicht benetzende Flüssigkeit in einer eingetauchten Kapillarröhre niedriger als aufserhalb derselben. Diese Erscheinung heifst **die Kapillardepression.** Benetzende Flüssigkeiten stellen sich in Kapillarröhren desto höher (Fig. 209), und nicht benetzende desto tiefer, je enger die Röhren sind.

Fig. 205.

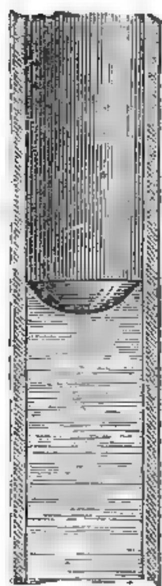


Fig. 206.



Fig. 207.

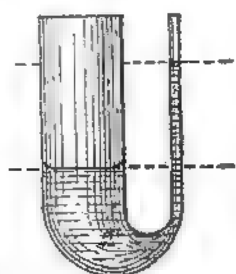


Fig. 208.

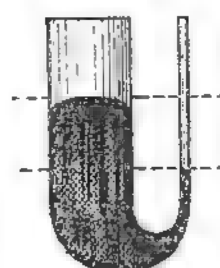
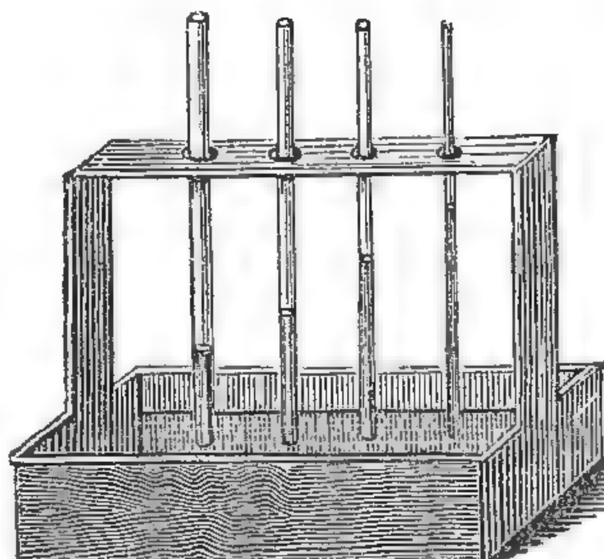
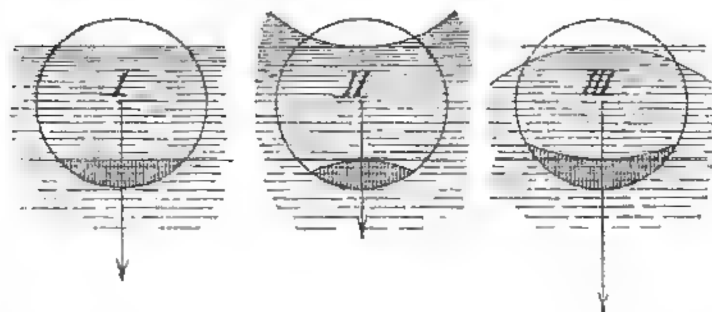


Fig. 209.



Jedes Flüssigkeitsteilchen zieht die unmittelbar benachbarten Teilchen der Flüssigkeit an und wird von diesen angezogen. Da die anziehende Kraft jedes Teilchens gleichmäfsig nach allen Seiten wirkt, mufs man sich jedes Flüssigkeitsteilchen als Mittelpunkt einer sehr kleinen Kugel vorstellen, innerhalb deren alle die Teilchen gelegen sind, welche das erste Teilchen, den Mittelpunkt, noch anziehen. Für jedes Teilchen der Flüssigkeit, welches nicht sehr nahe an der Oberfläche liegt, ist von allen Seiten her die Anziehung die gleiche, weil sich auf allen Seiten gleich viel anziehende Teilchen befinden. Liegt aber ein Teilchen der Flüssigkeitsoberfläche so nahe, dafs die um das Teilchen geschlagene Kugeloberfläche, welche den Wirkungsbereich der Molekularanziehung bezeichnet, die Oberfläche schneidet, so fehlt oberhalb der Oberfläche eine Anzahl nach oben ziehender Teilchen und das betreffende Teilchen wird stärker nach unten gezogen als nach oben (Fig. 210). Die an der Oberfläche befindlichen Teile erfahren daher eine überwiegende Anziehung nach dem Innern. Die Oberflächenschicht einer Flüssigkeit ist daher wie eine die Flüssigkeit überziehende dichtere Haut zu betrachten, welche auf die Flüssigkeit einen nach innen gerichteten Druck ausübt, der **die Oberflächenspannung** genannt wird. Die Oberflächenspannung ist bei einer hohlen Flüssigkeitsoberfläche kleiner, bei einer erhabenen dagegen gröfser als bei einer ebenen Oberfläche, weil bei einer hohlen Oberfläche weniger (Fig. 210, II), bei einer erhabenen Oberfläche (Fig. 210, III) mehr nach oben ziehende Teilchen fehlen als bei der ebenen Oberfläche (Fig. 210, I). In einer benetzenden Flüssigkeit hat ein Kapillarröhrchen innen eine hohle Oberfläche, in dem weiteren Gefäfs ist aber eine ebene Oberfläche. Der Oberflächendruck in dem

Fig. 210.



Gefäfs ist darum gröfser; er verbreitet sich durch die Flüssigkeit, wirkt unter dem Röhrchen in der Richtung nach oben und hebt in dem Röhrchen so viel Flüssigkeit empor, dafs ihr Gewicht samt der Oberflächenspannung im Röhrchen der Oberflächenspannung im Gefäfs gleich ist (Fig. 211). Die Kapillardepression dagegen erklärt sich daraus, dafs in einem Haarröhrchen eine dasselbe nicht benetzende Flüssigkeit eine erhabene Oberfläche hat, und dafs infolgedessen die Oberflächenspannung in der Röhre gröfser ist als in dem Gefäfs (Fig. 212).

Fig. 211.

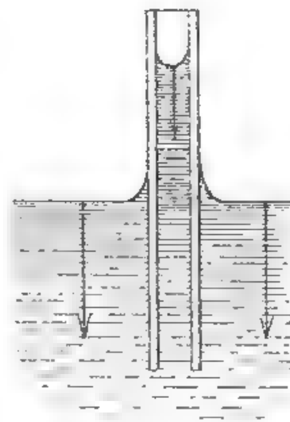
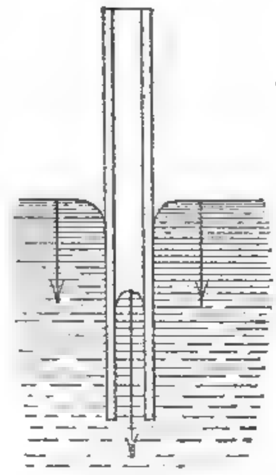


Fig. 212.



Haarröhrchenanziehung findet bei porösen Körpern statt. Ein nur etwas in Kaffee getauchtes Stück Zucker wird davon bald ganz durchzogen; ein Tropfen Tinte wird vom Löschpapier eingesogen; Petroleum steigt in den Lampendochten empor; Mauern aus lockerem Stein bleiben feucht; Tücher nehmen beim Abtrocknen nasser Gegenstände die Feuchtigkeit auf.

Manche Körper dehnen sich aus, wenn ihre Poren sich infolge der Kapillarität mit Wasser anfüllen. Nafs aufgespanntes Zeichenpapier ist ausgedehnt und zieht sich beim Trocknen zusammen; Türen und Fenster quellen bei Regenwetter; Steine werden durch Keile gesprengt, die man begiefst; Stricke und neue wollene Stoffe werden durch Benetzen der Breite nach ausgedehnt und ziehen sich der Länge nach zusammen.

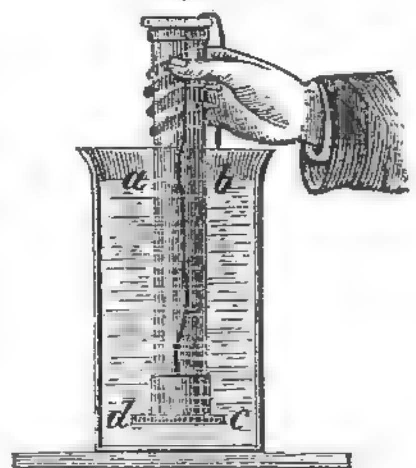
4. **Diffusion und Osmose.** Öl bleibt über Wasser stehen, es ist leichter als Wasser und vermischt sich nicht mit ihm. Wird (gefärbter) Alkohol vorsichtig auf Wasser gegossen, so findet zunächst auch keine Mischung des Alkohols mit dem Wasser statt, weil der Alkohol leichter ist und daher oben bleibt. Nach und nach findet aber eine völlige Vermischung beider Flüssigkeiten ohne alle Nachhilfe statt. Dieser Vorgang der Mischung zweier Flüssigkeiten heifst die **Diffusion.** Unter **Osmose** versteht man den Vorgang der Mischung zweier Flüssigkeiten durch eine poröse Scheidewand hindurch; sie findet nur bei Flüssigkeiten statt, die Diffusion zeigen. Wird ein unten mit einer Schweinsblase abgeschlossenes und mit Kupfervitriollösung gefülltes Gefäfs in Wasser gesetzt und oben mit einem Korke verschlossen, durch den eine Glasröhre hindurchgeführt ist, so sieht man bald ein Ansteigen des Kupfervitriols in der Röhre. Es ist also Wasser, der Schwerkraft entgegen, durch die Schweinsblase in die Lösung von Kupfervitriol eingedrungen; der Übertritt des Kupfervitriols in das Wasser ist gering. Als Ursache sowohl der Diffusion als der Osmose sieht man den **osmotischen Druck** an, d. h. ein in molekularen Stöfsen sich äufserndes Bestreben der gelösten Moleküle eines festen Körpers, sich noch stärker zu lösen. Die Höhe des Anstieges in der Glasröhre, welche in die Lösung hineinführt, liefert ein Mafs für die Gröfse des osmotischen Druckes. Durch Osmose werden die zellenbildenden Säfte im Tier- und Pflanzenkörper durch poröse, geschlossene Wandungen befördert.

c) Der Druck eingetauchter Körper.

§ 103. Der Auftrieb und der Gewichtsverlust eingetauchter Körper.

1. Innerhalb einer Flüssigkeit ist wegen ihres Gewichtes ein nach unten gerichteter Druck vorhanden. Derselbe müfste eine Bewegung der Flüssigkeit bewirken, wenn ihm nicht ein ebenso grofser Druck nach oben entgegenwirkte. Diesen nach oben gerichteten Druck empfindet man, wenn man eine leere Wanne tief ins Wasser hinabdrückt. Man kann ferner eine weite, unten ebengeschliffene Glasröhre (Fig. 213) unten durch eine Metallplatte verschliefsen, welche an einer Schnur hängt; die Schnur führt man durch die Röhre nach oben und zieht sie straff an. Taucht man nun die Röhre in ein hohes Gefäfs mit Wasser, so kann man die Schnur loslassen; die Metallplatte sinkt nicht hinab, weil sie durch den Druck der Flüssigkeit von unten nach oben gegen die Röhre geprefst wird. In einer Flüssigkeit ist daher ein nach oben gerichteter Druck vorhanden; derselbe heifst **der Auftrieb.**

Fig. 213.

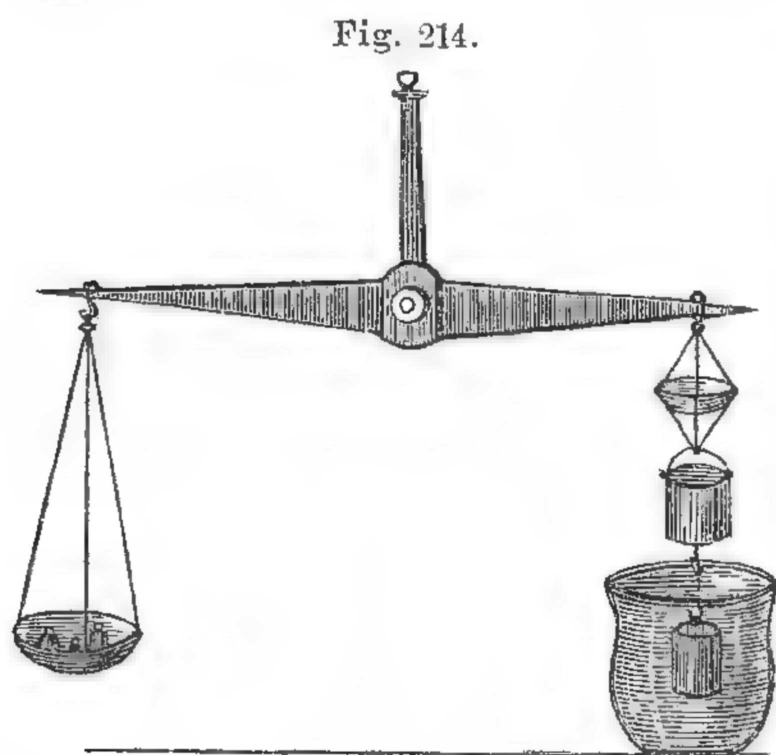


2. Giefst man in die eingetauchte Röhre (Fig. 113) behutsam Wasser, so fällt die Metallplatte ab, sobald das Wasser in der Röhre (fast) ebenso hoch steht wie aufserhalb derselben. Der Druck, welchen die Platte dann von obenher erleidet, ist ebenso grofs wie der Druck der Flüssigkeit nach obenhin, und die Platte sinkt wegen ihres Gewichtes. Der von oben nach unten gerichtete Druck ist aber gleich dem Gewicht der in der Röhre befindlichen Wassersäule *abcd*. Es ist deshalb der Auftrieb so grofs wie das Gewicht einer Flüssigkeitssäule, welche die gedrückte Fläche zur Grundfläche und den Abstand derselben vom Flüssigkeitsspiegel zur Höhe hat.

3. Wegen des Auftriebes werden in eine Flüssigkeit eingetauchte Körper zum Teil von derselben getragen. Der Eimer eines Ziehbrunnens läfst sich leicht emporziehen, solange er sich im Wasser befindet, aber schwerer, sobald man ihn über das Wasser emporhebt. Fischer, die einen reichen Fang getan haben, ziehen das gefüllte Netz vorsichtig aus dem Wasser, weil in der Luft das Netz das ganze Gewicht allein zu tragen hat. Bei Wasserbauten bewegen die Arbeiter mit Leichtigkeit unter Wasser grofse Steine, weil diese zum Teil vom Wasser getragen werden. Ein in eine Flüssigkeit eingetauchter fester Körper zeigt ein geringeres Gewicht als in der Luft, er verliert also scheinbar in der Flüssigkeit an Gewicht.

4. Die Gröfse des (scheinbaren) Gewichtsverlustes eines eingetauchten Körpers oder wieviel vom Gewicht eines eingetauchten Körpers die Flüssigkeit trägt, lehrt der **Versuch mit einem hohlen und einem massiven Metallzylinder.** Man hängt an die verkürzte Schale einer sogenannten **hydrostatischen Wage** (Fig. 214) einen hohlen Metallzylinder und unten an diesen einen massiven Zylinder von der Gröfse, dafs er genau den hohlen Zylinder ausfüllt, und stellt durch Gewichte, die man in die andere Wagschale legt, das Gleichgewicht her. Schiebt man nun unter den massiven Zylinder ein Glas Wasser, in welches er ganz eintaucht, so erhält die an den längeren Schnüren hängende Wagschale das Übergewicht. Giefst man aber den hohlen Zylinder voll Wasser, so ist das Gleichgewicht hergestellt. Der eingetauchte Zylinder hat daher so viel von seinem Gewicht verloren, als das Wasser in dem hohlen Zylinder wiegt. Ebensoviel Wasser verdrängt aber der eingetauchte Zylinder. Folglich ist der Gewichtsverlust des eingetauchten Zylinders gleich dem Gewicht der verdrängten Wassermenge. Auch für jede andere Flüssigkeit gilt das um 220 v. Chr. aufgestellte **Gesetz des Archimedes** (geb. 287 v. Chr. in Syrakus, dort 212 v. Chr. erschlagen durch siegreiche Römer):

Fig. 214.



Der scheinbare Gewichtsverlust eines eingetauchten Körpers ist gleich dem Gewicht der verdrängten Flüssigkeitsmenge. Oder: **Von dem Gewicht eines eingetauchten Körpers trägt die Flüssigkeit so viel, als die verdrängte Flüssigkeitsmenge wiegt.**

5. Taucht man einen Körper unter, so verdrängt er die Flüssigkeit aus dem Raum, den er einnimmt. Die verdrängte Wassermenge wurde von dem Wasser getragen. Ist der untergetauchte Körper ebenso schwer wie die verdrängte Flüssigkeitsmenge, so wird er ebenfalls von der Flüssigkeit getragen und schwebt in ihr an jeder Stelle. Ist der untergetauchte Körper schwerer als die verdrängte Wassermenge, so sinkt er zu Boden. Ist der ganz untergetauchte Körper leichter als die verdrängte Wassermenge, und läfst man ihn los, so

steigt er empor und schwimmt. **Wiegt ein untergetauchter Körper ebenso viel wie die von ihm verdrängte Menge der Flüssigkeit, so schwebt er in derselben. Wiegt er mehr, so sinkt er zu Boden; wiegt er weniger, so steigt er empor.**

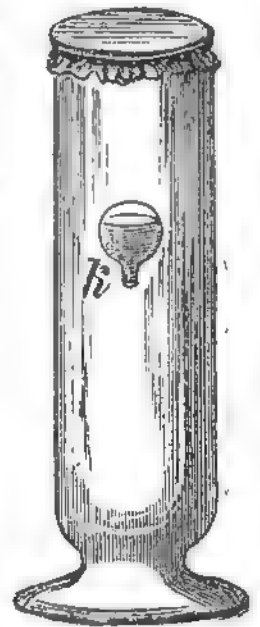
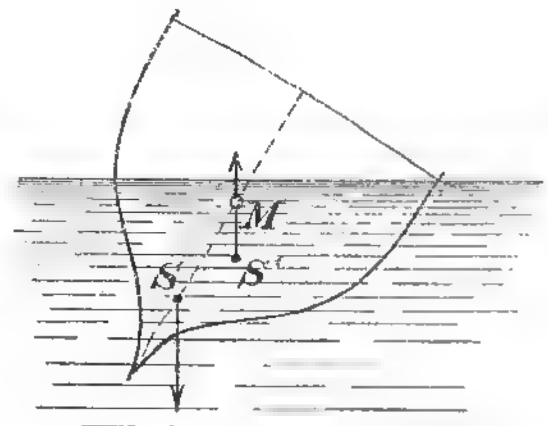


Fig. 215.

Diese Erscheinungen des Schwebens, Sinkens und Steigens zeigen die Kartesianischen Taucher. Ein solcher Taucher ist eine hohle Figur aus Glas, zum Teil mit Wasser gefüllt, fast gleich schwer wie eine ebenso grofse Wassermenge und unten mit einer feinen Öffnung versehen (Fig. 215). Er wird in ein fast ganz mit Wasser angefülltes Glas getan, und über dasselbe wird ein Stück Gummi gebunden, oder es wird ein passender Gummipfropf aufgesetzt. Drückt man dann oben schwach, so dringt ein wenig Wasser in den Taucher und vergröfsert sein Gewicht so, dafs er im Wasser schwebt; bei stärkerem Druck sinkt er zu Boden. Hört der Druck auf, so treibt die zusammengedrückte Luft Wasser aus dem Taucher, und er steigt empor.

§ 104. Das Schwimmen.

Wenn man auf das Wasser eines damit ganz gefüllten Gefäfses eine Holzkugel oder einen anderen schwimmenden Körper von bekanntem Gewicht legt und das von dem eintauchenden Teil des Körpers verdrängte Wasser auffängt und wägt, so findet man, dafs das verdrängte Wasser ebenso viel wiegt wie der ganze Körper. Bevor der schwimmende Körper im Wasser war, befand sich an der Stelle, die der eingetauchte Teil des schwimmenden Körpers einnimmt, ein dem eingetauchten Teile gleiches Volumen Wasser, welches nun verdrängt ist. Wie vorher das Gewicht dieses verdrängten Wasservolumens vom übrigen Wasser getragen wurde, so wird nun der schwimmende Körper getragen, dessen Gewicht daher dem Gewichte des verdrängten Wassers gleich ist. Ein schwimmender Körper wird also so tief in die Flüssigkeit einsinken, bis das verdrängte Flüssigkeitsvolumen dasselbe Gewicht hat wie der schwimmende Körper. **Ein Körper schwimmt** daher **auf einer Flüssigkeit, wenn die durch den eintauchenden Körperteil verdrängte Flüssigkeitsmenge so viel wiegt wie der ganze Körper. Er taucht so tief ein, bis dies der Fall ist. Ein Körper schwimmt also 1., wenn er ein kleineres spezifisches Gewicht hat als die Flüssigkeit**; darum schwimmt Öl auf dem Wasser, und Luftblasen steigen in einem fast ganz mit Wasser gefüllten Gefäfs an die höchste Stelle*). Ein Körper kann aber auch schwimmen 2., **wenn seine Gestalt bewirkt, dafs das von einem Teil desselben verdrängte Wasser so viel wiegt wie der ganze Körper**, wie dies bei zugekorkten, leeren Glasflaschen, hohlen Metallkugeln und den Schiffen der Fall ist.

Fig. 217.


Das spezifische Gewicht des Menschen ist nur wenig gröfser als das des Wassers (1,03); daher kann sich der Mensch durch geeignet gegen das Wasser ausgeführte Stöfse an der Wasseroberfläche halten. Soll ein Körper, z. B. ein Schiff, in sicherer Gleichgewichtslage schwimmen, so mufs der Auftrieb, dessen Angriffspunkt im Schwerpunkt S^1 der verdrängten Wassermasse zu denken ist (Fig. 217), die lotrechte Symmetrielinie des

*) Hierauf beruht **die Wasserwage** oder Röhrenlibelle (Fig. 216), welche man anwendet, um die wagerechte Richtung zu bestimmen. Eine in der Mitte schwach nach oben gekrümmte, verschlossene Glasröhre enthält Spiritus und eine kleine Luftblase. Die Röhre hat eine messingene, oben mit einem Ausschnitt versehene Fassung. Diese ist so auf einem Lineal befestigt, dafs bei wagerechter Lage desselben die Luftblase ihre höchste Stellung, in der durch Striche markierten Mitte der Röhre, einnimmt. Hat aber das Lineal nicht wagerechte Lage, so liegt ein anderer Teil der Röhre höher als ihre Mitte, und die Luftblase bewegt sich nach dem höheren Teile hin.

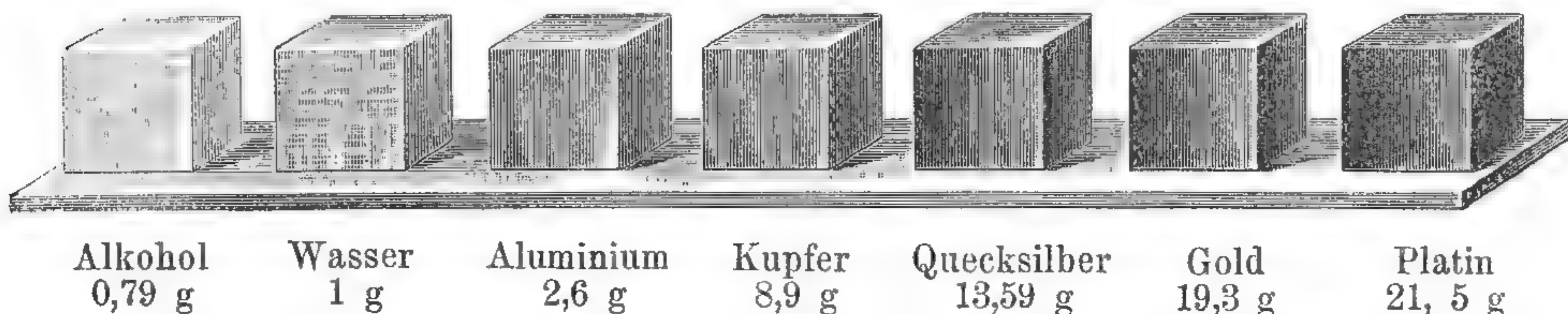
Fig. 216.


Schiffsquerschnittes, auf welcher der Schiffsschwerpunkt S liegt, bei schiefer Schiffslage, oberhalb des Schiffsschwerpunktes schneiden; dieser Schnittpunkt heifst das **Metazentrum.** Zur sicheren Gleichgewichtslage mufs daher der Schwerpunkt des schwimmenden Körpers tief liegen. Auftrieb und Schwerkraft richten in diesem Falle das Schiff aus der schiefen Lage wieder auf. Je nachdem das Metazentrum mit dem Schwerpunkt des schwimmenden Körpers zusammenfällt oder unter diesem liegt, findet indifferentes oder labiles Gleichgewicht statt.

§ 105. Die Bestimmung des spezifischen Gewichtes.

1. **Spezifisches Gewicht.** 1 ccm Wasser wiegt ein Gramm; vergleicht man auf einer Wage hiermit die Gewichte verschiedener Stoffe, die alle das Volumen 1 ccm haben, so findet man, dafs jedem Stoffe eine ihm eigene Zahl zukommt, die angibt, wieviel Gramm ein Kubikcentimeter dieses Stoffes wiegt, oder wievielmal schwerer er ist als 1 ccm Wasser von 4° (Fig. 218). **Die Zahl, welche angibt, wieviel Gramm ein Kubikcentimeter eines Stoffes wiegt, heifst das spezifische Gewicht desselben. Man findet daher das spezifische Gewicht eines Stoffes von beliebiger Gröfse, wenn man mit der Anzahl seiner Kubikcentimeter in die Anzahl seiner Gramme dividiert.** Das spezifische Gewicht gibt zugleich an, wievielmal so viel ein Körper wiegt als ein gleiches Volumen Wasser.

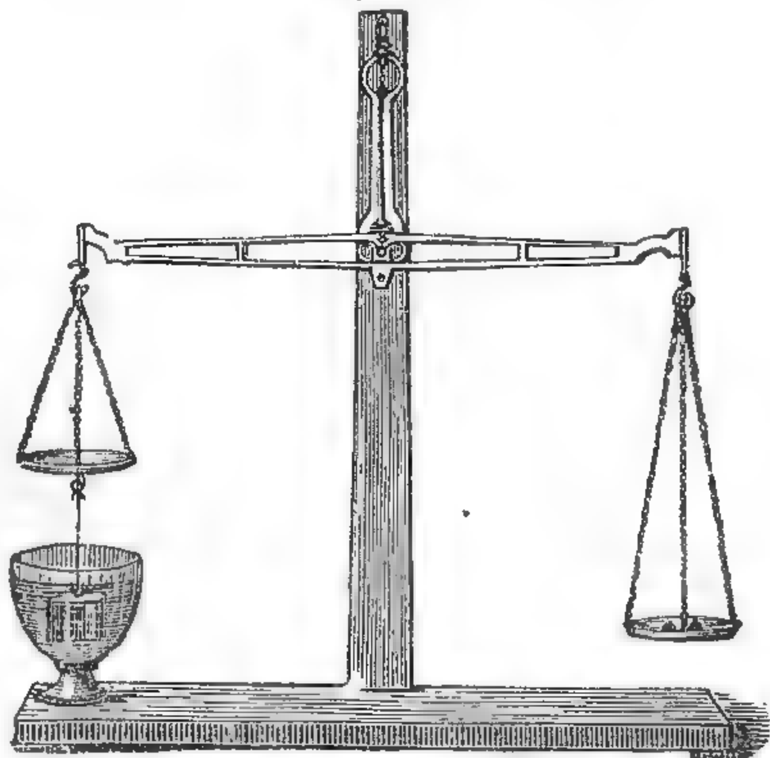
Fig. 218.



Einige weitere bemerkenswerte spezifische Gewichte sind: Atmosphär. Luft 0,0013, Olivenöl 0,9, Kork 0,25, Lindenholz 0,5, Eis 0,93, Kalkspat 2,71, Zink 7,2, Zinn 7,3, Schmiedeeisen 7,8, Gufseisen 7,1—7,6, Messing 8,1—8,6, Nickel 8,8, Silber 10,5, Blei 11,4.

2. **Feste Körper. a) Mit der hydrostatischen Wage.** (Fig. 219.) Um das spezifische Gewicht eines festen Körpers zu berechnen, bestimmt man 1. sein absolutes Gewicht in Grammen und 2. auf folgende Weise seinen Rauminhalt in ccm. Man hängt den Körper mittels eines Haares oder Drahtes an die kürzere Wagschale, läfst ihn ganz in Wasser eintauchen und ermittelt seinen Gewichtsverlust im Wasser oder das Gewicht einer ebenso grofsen Wassermasse. Ein Stück Zink, das in der Luft 14 g wiegt, verliert scheinbar im Wasser 2 g Gewicht. Also ist 2 g das Gewicht einer dem Zink an Gröfse gleichen Wassermasse, deren Raum daher 2 ccm beträgt; ebenso grofs ist das Stück Zink. **Der Gewichtsverlust eines ganz in Wasser eingetauchten Körpers beträgt in Grammen so viel wie das Volumen des Körpers in Kubikcentimetern.** Daher läfst sich bei der Berechnung des spezifischen Gewichtes die das Volumen in Kubikcentimetern bestimmende Zahl durch die Zahl ersetzen, welche den Gewichtsverlust in Grammen angibt, und daher gilt der Satz: Man erhält das spezifische Gewicht eines festen Körpers, indem man mit seinem Gewichtsverlust im Wasser in sein (in der gleichen Gewichtseinheit ausgedrücktes) absolutes Gewicht dividiert.

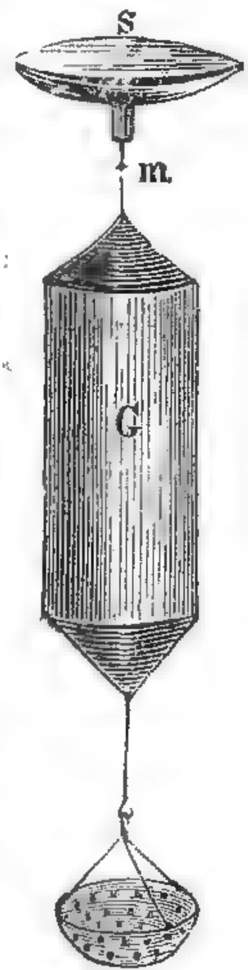
Fig. 219.



Ist der feste Körper leichter als Wasser, so mufs man ihn zum Zwecke des Untertauchens an einem schwereren befestigen. Wird an jenem Stück Zink ein Stück Lindenholz von 1 g Gewicht befestigt, so beträgt ihr gemeinsamer Gewichtsverlust 4 g; 2 g ist der Gewichtsverlust des Zinks, der Rest von 2 g also der Gewichtsverlust des Holzes; dasselbe ist 2 Kubikcentimeter grofs, und sein spezifisches Gewicht ist daher 1 : 2 = 0,5.

b) **Mit der Nicholsonschen Senkwage** (Gewichtsaräometer, Fig. 220), welche aus einem hohlen, lotrecht schwimmenden Zylinder *C* von Blech besteht, der innen mit Blei beschwert ist und zur Hälfte in Wasser eintaucht; oben trägt ein Draht eine kleine Schale *S*, unten hängt ein durchlöchertes Körbchen aus Messing. Den zu untersuchenden Körper legt man oben auf die Schale und fügt zu ihm Schrotkörner, bis das Instrument bis zur festen Marke *m* einsinkt. Legt man dann statt des Körpers so viel Gewichte auf die Schale, bis die Senkwage wieder bis zum Strich einsinkt, so geben diese Gewichte das absolute Gewicht des Körpers an. Nimmt man nun die Gewichte fort, und legt man den Körper unten in das Körbchen im Wasser, so mufs man auf die Schale wieder Gewichte legen, damit das Instrument bis zum Strich einsinkt; diese Gewichte geben an, wieviel Gramm der Gewichtsverlust des Körpers beträgt; ebenso viel Kubikcentimeter ist der Körper grofs.

Fig. 220.



3. **Flüssige Körper.** a) **Mit hydrostatischer Wage und Senkgläschen.** Man hängt an die kürzere Wagschale ein Senkgläschen, einen überall verschlossenen, zum Teil mit Quecksilber gefüllten Glaszylinder, dessen Rauminhalt man ein für allemal durch Feststellung seines Gewichtsverlustes in Wasser ermittelt hat, läfst es ganz in die Flüssigkeit eintauchen und ermittelt seinen Gewichtsverlust in derselben. So grofs sich sein Gewichtsverlust zeigt, so grofs ist das Gewicht der von ihm verdrängten Flüssigkeitsmenge. Verliert ein 5 Kubikcentimeter grofses Senkgläschen in Spiritus 3,95 g, so wiegen die verdrängten 5 Kubikcentimeter Spiritus 3,95 g. Ein Kubikcentimeter wiegt daher den fünften Teil von 3,95 oder 0,79 g, und das spezifische Gewicht des Spiritus ist 0,79. Diese Zahl erhält man, indem man den Gewichtsverlust des Senkgläschens in Spiritus (3,95) durch das Volumen des Gläschens (5) dividiert. **Man erhält das spezifische Gewicht einer Flüssigkeit, indem man den Gewichtsverlust, den ein Senkgläschen in derselben erleidet, durch das Volumen des Senkgläschens dividiert.**

Da der Gewichtsverlust in g, den das Senkgläschen in der zu untersuchenden Flüssigkeit erleidet, nichts anderes ist als das Gewicht eines dem Volumen des Senkgläschens gleichen Volumens in ccm der zu untersuchenden Flüssigkeit, so ergibt dieser Versuch zugleich, dafs auch das spezifische Gewicht einer Flüssigkeit erhalten wird, wenn man das Flüssigkeitsgewicht in g durch ihr Volumen in cmm dividiert.

b) **Durch unmittelbares Abwägen in einer Grammflasche,** das ist eine Flasche, welche genau 10 g oder 100 g Wasser fafst. Man stellt eine Grammflasche, welche 100 g Wasser fafst oder 100 ccm Inhalt hat, auf die eine Schale einer Wage und legt in die andere Schrotkörner, bis das Gleichgewicht hergestellt ist. Darauf füllt man die Flasche mit der Flüssigkeit, z. B. mit Olivenöl, und wägt diese. Wiegen die 100 ccm Olivenöl in der Flasche 90 g, so wiegt 1 ccm den hundertsten Teil von 90 g, $^{90}/_{100} = 0,9$ g, und das spezifische Gewicht des Olivenöls ist 0,9. Diese Zahl erhält man, indem man das absolute Gewicht des die Grammflasche füllenden Öls (90) durch den Rauminhalt der Flasche (100) dividiert. **Man erhält das spezifische Gewicht einer Flüssigkeit auch, indem man das absolute Gewicht der eine Grammflasche füllenden Flüssigkeit durch den Rauminhalt der Flasche dividiert.**

4. **Luftförmige Körper** (siehe § 108 S. 127).

5. **Wichtigkeit des spezifischen Gewichtes.** 1. Weil das spezifische Gewicht für jeden Stoff unveränderlich ist, dient es als Kennzeichen für die Echtheit und Reinheit eines Stoffes. Findet man das spezifische Gewicht zu grofs, so ist der Stoff mit schwereren Stoffen versetzt; findet man es zu klein, so ist er mit leichteren Stoffen vermischt. 2. Ferner läfst sich mit Hilfe des spezifischen Gewichtes

das wirkliche oder absolute Gewicht von Gegenständen berechnen, die entweder zu grofs für eine Wage sind, oder die man erst in der Zeichnung entworfen hat und daher noch nicht wägen kann. Hat der Zeichnung nach ein gufseisernes Rad einen Körperinhalt von 26000 ccm, so wird es in fertigem Zustande, wenn 1 ccm Gufseisen 7,21 g wiegt, 7,21 g $\times$ 26 000 = 187 460 g = 187,46 kg schwer sein. Es gilt der Satz: Man erhält das (absolute) Gewicht eines Körpers in Grammen, wenn man das spezifische Gewicht mit dem in Kubikcentimetern ausgedrückten Volumen vervielfältigt.

Gewicht in Grammen = spezifisches Gewicht $\times$ Volumen in Kubikcentimetern.

§ 106. Die Aräometer.

Ein Probierglas, welches Schrotkörner enthält und in Spiritus fast ganz einsinkt, sinkt weniger tief ein in Wasser, noch weniger in einer Kochsalzlösung, die ein gröfseres spezifisches Gewicht hat (Fig. 221). In dem Wasser eines Flusses sinken die Seeschiffe tiefer ein als in dem schwereren Wasser des Meeres. **Ein und derselbe schwimmende Körper sinkt in einer Flüssigkeit desto tiefer ein, je kleiner ihr spezifisches Gewicht ist.** Aus der Tiefe, bis zu welcher der schwimmende Körper einsinkt, läfst sich daher auf das spezifische Gewicht der Flüssigkeit schliefsen. Man gebraucht dazu **die Schwimmwage oder das Aräometer,** eine verschlossene Glasröhre, die sich nach unten zuerst zu einem leeren Zylinder und ganz unten zu einer mit Quecksilber gefüllten Kugel erweitert (Fig. 222). Reiner Spiritus ist leichter als eine Mischung von Spiritus und Wasser, wie sie im Handel unter dem Namen Spiritus oder Branntwein vorkommt; diese Mischung aber ist wieder noch leichter als Wasser. Ist also ein Aräometer bestimmt, die Güte des Spiritus zu prüfen, so kann man es zuerst in reines Wasser tauchen und den Punkt, bis zu dem es einsinkt, an der Glasröhre mit der Zahl 0 bezeichnen; hierauf taucht man das Instrument in eine Mischung von 95 Teilen Wasser und 5 Teilen reinen Spiritus und bezeichnet den Punkt an der Röhre mit 5, da die Mischung jetzt in 100 Teilen der Flüssigkeit 5 Teile oder 5 Prozent Spiritus enthält. Ebenso senkt man das Aräometer in Mischungen, die 10, 15, 20 und so fort bis 100 Prozent Spiritus enthalten, und schreibt diese Prozentzahlen an den Punkt der Glasröhre, bis zu dem sie in jeder Mischung einsinkt; diese Prozentskala wird auf einen Papierstreifen getragen und im Innern der Glasröhre befestigt. Will man nun die Güte des zu kaufenden Spiritus untersuchen, so gibt die Zahl, bis zu der das Aräometer (Alkoholometer) darin eintaucht, die Prozente des Spiritus an. Wie für Spiritus, werden auch Aräometer zur Bestimmung des Prozentgehaltes für Salzsolen (Salzspindeln), Zuckerlösungen (Saccharimeter), Schwefelsäure usf. gebraucht; auch die Milchwagen und Mostwagen gehören hierher.

Fig. 221.

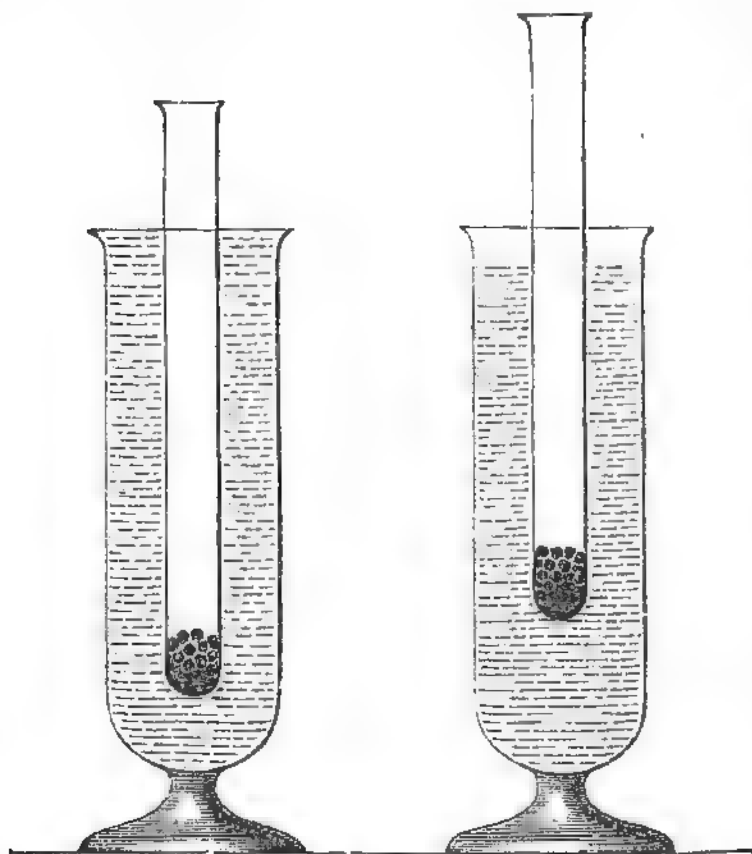
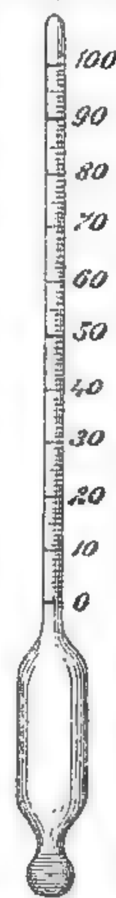


Fig. 222.



D. Wirkungen der Schwerkraft auf luftförmige Körper.

§ 107. Die Spannkraft luftförmiger Körper.

1. Die luftförmigen Körper haben mit den übrigen Körpern das gemein, dafs sie der Schwerkraft unterworfen sind und Gewicht haben (§ 108). Sie sind den tropfbarflüssigen Körpern darin ähnlich, dafs ihre Teile sich durch die kleinste Kraft verschieben lassen. Darum haben die Gesetze, welche wegen der leichten Verschiebbarkeit ihrer Teile von den Flüssigkeiten gelten, auch für die luftförmigen Körper Gültigkeit und gestalten sich für diese folgendermafsen:

I. Jeder auf eine Luftmasse ausgeübte Druck verbreitet sich in derselben gleichmäfsig nach allen Richtungen.

II. In jeder Luftmasse ist ein nach oben gerichteter Druck vorhanden, welcher der Auftrieb heifst.

III. Der Gewichtsverlust eines in der Luft befindlichen Körpers ist gleich dem Gewicht der verdrängten Luftmenge.

IV. Wiegt ein in der Luft befindlicher, frei beweglicher Körper ebenso viel wie die verdrängte Luftmenge, so schwebt er in derselben. Wiegt er mehr, so sinkt er zu Boden; wiegt er weniger, so steigt er empor*).

2. Aber schon dadurch unterscheiden sich die luftförmigen Körper von den flüssigen, dafs diese sich nur sehr wenig zusammendrücken lassen, die luftförmigen dagegen leicht und bedeutend zusammengedrückt werden können. Der Hauptunterschied der Luftarten jedoch von den übrigen Körpern ist folgender. Die Teile fester Körper lassen sich wegen ihrer bedeutenden Kohäsion nur durch eine gröfsere Kraft voneinander trennen. Die Teile tropfbarer Flüssigkeiten haben gleichfalls Zusammenhang, wenn auch derselbe sehr gering ist. Aber **die luftförmigen Körper haben keine Kohäsion, sondern streben, sich nach allen Richtungen auszubreiten,** sie besitzen auch in verdünntem Zustande **Spannkraft** oder **Expansivkraft.**

a) Der Druck der atmosphärischen Luft.

§ 108. Schwere und Gewicht luftförmiger Körper.

Die Erdkugel, deren mittlerer Durchmesser 12 733 km beträgt, ist von einer Lufthülle von ungefähr 75 bis 90 km Höhe umgeben. Infolge ihres Ausdehnungsvermögens und der Zentrifugalkraft, die von der Achsendrehung der Erde herrührt, würde sich die den Erdkörper umgebende Luft von der Erde entfernen, wenn nicht die Schwerkraft sie zurückhielte. **Die Schwere der Luft beweist man durch eine Wägung.** Man pumpt eine mit einem Hahne versehene Glaskugel von bekanntem Rauminhalt luftleer (§ 115, 1) und wägt sie; öffnet man den Hahn, und strömt Luft in die Glaskugel, so zeigt sie sich wegen des Gewichts der nun in ihr enthaltenen Luft schwerer. Beträgt der Rauminhalt der Glaskugel 1 Liter oder 1000 ccm, so zeigt sich die Glaskugel mit Luft 1,293 g schwerer als ohne Luft. Ein Liter **atmosphärischer Luft** wiegt also **1,293 g** (bei 0^0 und einem Barometerstand von 760 mm), 1 ccm daher 1,293/1000 = $^1/_{773}$ g; **das spezifische Gewicht der Luft beträgt $^1/_{773}$,** bezogen auf Wasser. Auf ähnliche Weise findet man das spezifische Gewicht anderer luftförmiger Körper; man gibt bei ihnen entweder an, wievielmal so schwer sie sind als die atmosphärische

*) Es beruht hierauf die Luftschiffahrt.

Luft, oder man vergleicht ihr Gewicht mit dem des Wasserstoffs. Ist das spezifische Gewicht des Wasserstoffs = 1, so ist das des Wasserdampfes 9, das der atmosphärischen Luft 14,43 und das der luftförmigen Kohlensäure 22. Ein Liter Wasserstoff wiegt 0,0896 g.

§ 109. Der Druck der Luft nach allen Richtungen.

1. Wegen der Schwere übt die Luft einen Druck nach unten aus. Um denselben wahrzunehmen, gieſst man in eine unten verschlossene Glasröhre etwas Baumöl, schiebt langsam bis in dasselbe einen Kolben, den man durch Umwickeln eines Stäbchens mit Werg hergestellt hat, und gieſst noch auf den Kolben etwas Öl, das ihn luftdicht macht. Zieht man nun im Freien den Kolben empor, so entsteht unter ihm ein luftleerer Raum, und der Druck der auf ihm lastenden Luftsäule bewegt den Kolben mit merklicher Kraft abwärts (Fig. 223).

2. Hält man den Kolben fest, und zieht man die Röhre nach unten, so wird sie nach oben bewegt; folglich wirkt der Luftdruck auch nach oben. Hält man die Röhre wagerecht, und zieht man den Kolben nach rechts, so wird er durch den Luftdruck nach links bewegt. Man kann der Röhre jede beliebige Stellung geben; der Erfolg bleibt derselbe.

Fig. 223.



Gesetz: **Die Luft übt einen Druck nach allen Richtungen aus.**

3. Wiederholt man die Versuche im Zimmer, so ist der Erfolg derselbe. Das Gewicht der oberen Luftschichten lastet auf den niedrigeren und drückt sie zusammen. Die unteren Luftschichten sind daher dichter als die oberen, wie es die beim Besteigen von Bergen und Aufsteigen in Luftballons gemachten Erfahrungen bestätigen. Die unterste Luftschicht hat darum unter allen die gröſste Spannkraft, so groſs, wie das Gewicht der darüber befindlichen Atmosphäre, die von ihr getragen wird. Von auſsenher gedrängt, dringen Luftteilchen in das Zimmer, bis dessen Luft dieselbe Dichte und Spannkraft hat wie die im Freien. Darum ist der Luftdruck im Innern der Gebäude ebenso groſs wie im Freien.

§ 110. Wirkungen des Luftdrucks.

1. **Vom Luftdruck getragene Flüssigkeitssäulen.** Wird eine offene Glasröhre in Wasser getaucht, so stellt sich in der Röhre das Wasser so hoch wie auſsen; verschlieſst man die obere Öffnung mit dem Finger und hebt die Röhre aus dem Wasser, so flieſst wenig Wasser aus, und die Luft in der Röhre dehnt sich etwas aus; das übrige Wasser aber flieſst nicht aus, sondern wird durch den Druck der atmosphärischen Luft getragen. Läſst man die Finger los, so dringt von oben Luft in den luftverdünnten Raum, und alles Wasser flieſst wegen seiner Schwere aus. Hierauf beruht der **Stechheber**, eine in der Mitte erweiterte, unten enge Röhre, die sich oben gerade mit dem Daumen verschlieſsen läſst (Fig. 224). Man wendet den Stechheber an, um Proben von Flüssigkeiten aus Fässern und groſsen Flaschen zu entnehmen. Füllt man eine Röhre ganz mit Wasser, so flieſst, wenn man sie oben zuhält, kein Wasser aus derselben, weil die Luft aufwärts gegen die Öffnung drückt, ohne daſs Luft im Innern der Röhre ihr Widerstand leistet. Ein in einer Schüssel mit Wasser gefülltes Trinkglas (Fig. 225) läſst sich mit abwärts gekehrter Öffnung beinahe bis

Fig. 224.



Fig. 225.



an diese aus der umgebenden Wassermasse herausheben, ohne dafs das Wasser im Glase sinkt; das Glas und die Schüssel bilden zusammenhängende Gefäfse; in dem Glase wirkt der Druck des Wassers, in der Schüssel der Druck der obersten Wasserschicht und der Druck einer Luftsäule von der Höhe der Atmosphäre; dieser Druck verbreitet sich in der Flüssigkeit nach allen Richtungen und wirkt nach oben gegen das Wasser im Glase. Man kann ein Glas voll Wasser (Fig. 225 a), gegen dessen Öffnung man ein Stück Papier drückt, umkehren und das Papier loslassen, ohne dafs das Wasser ausfliefst; das Papier hindert das Eindringen der Luft, erleidet aber den Druck derselben. Ebenso fliefst aus einem vollen Fasse, solange das Spundloch verschlossen bleibt, fast nichts heraus, wenn man auch den Hahn öffnet, weil die Luft aufwärts drückt. **Es werden daher Flüssigkeitssäulen durch den Luftdruck getragen.**

Fig. 225 a.

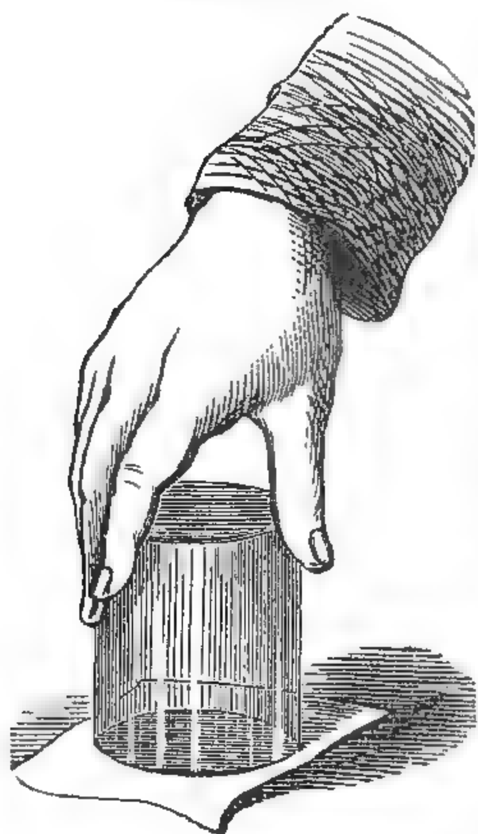
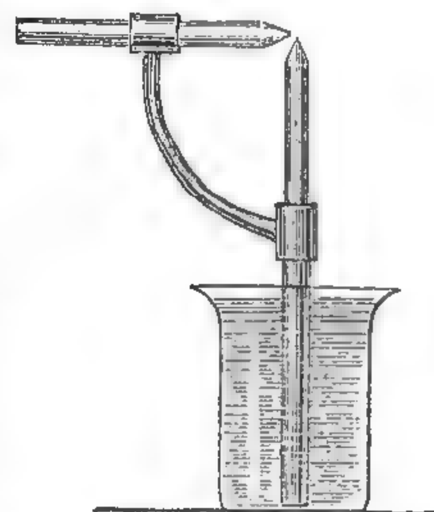


Fig. 226.



2. **Das Atmen und Saugen.** Beim **Atmen** wird durch Erweiterung der Brusthöhle die Luft in derselben verdünnt, und frische Luft wird durch den Luftdruck genötigt, in die Brust einzudringen. **Saugt man** an dem einen Ende einer Röhre, deren anderes Ende in Wasser getaucht ist, so wird durch das Saugen die Luft in der Röhre verdünnt, und der Luftdruck bewirkt, dafs das Wasser darin emporsteigt. Beim **Trinken** verdünnen wir die Luft im Munde, und die Luft, die zum Trinkgefäfs Zutritt haben mufs, drückt auf die Flüssigkeit. Stellt man das eine Ende einer Röhre, in der sich ein **Kolben** luftdicht bewegen läfst, in Wasser, und zieht man ihn empor, so wirkt der Kolben saugend; es entsteht unter ihm ein luftverdünnter Raum, und in diesen wird das Wasser durch den Luftdruck getrieben; auf ähnliche Weise wird in den Pumpen das Wasser zum Steigen gebracht. Bei den **Flüssigkeitszerstäubern** (Fig. 226) wird durch einen Luftstrom oder Luftstrahl, welcher die ihn umgebenden Luftteilchen mit sich fortreifst, ein luftverdünnter Raum hervorgebracht und die in denselben durch den Luftdruck getriebene Flüssigkeit in feine Tröpfchen zerteilt. **Durch den Luftdruck werden Körper nach luftverdünnten Räumen bewegt.**

§ 111. Die Barometer.

1. **Die Erfindung des Barometers.** Das Instrument **zum Messen des Luftdrucks** ist das Barometer, welches 1644 Torricelli*) zu Florenz erfunden hat.

Im Garten des Grofsherzogs von Toscana zu Florenz wurde eine ungewöhnlich hohe Pumpe angelegt, lieferte aber kein Wasser; sondern dasselbe stieg in dem Pumpenrohr nur 10,33 m hoch, und darüber blieb bis zu dem Kolben hin ein fast luftleerer Raum, der sich nicht mit Wasser füllte. Diese Erscheinung erklärte Torricelli, Galileis Schüler, indem er annahm, der Luftdruck sei gerade so grofs, dafs er eine 10,33 m hohe Wassersäule tragen könne. Er schlofs dann folgendermafsen weiter: Wenn der Luftdruck Wasser tragen kann, so mufs er auch Quecksilber tragen können. Weil aber ein Kubikcentimeter Quecksilber ungefähr 14 mal so viel wiegt als 1 Kubikcentimeter Wasser, so kann die Höhe der von der Luft getragenen Quecksilbersäule nur den 14. Teil von der Höhe der Wassersäule, $^1/_{14} \times 10{,}33$ m, betragen. Genau genommen, wiegt ein Kubikcentimeter Quecksilber 13,59 mal so viel als 1 Kubikcentimeter Wasser. Die von der Luft getragene Quecksilbersäule mufs daher $^1/_{13,59} \times 10{,}33$ m $= 760$ mm hoch sein. Um die Richtigkeit seiner Annahme zu prüfen, füllte Torricelli eine fast 1 m lange, an dem einen Ende verschlossene Glasröhre mit Quecksilber, hielt das offene Ende mit einem Finger zu und tauchte es in ein Gefäfs

*) Den sogenannten Torricellischen Versuch hat zuerst Viviani 1643 ausgeführt.

mit Quecksilber (Fig. 227). Als er den Finger wegzog, sank das Quecksilber und blieb in einer Höhe von 28 Pariser Zoll oder 760 mm stehen. Über dem Quecksilber war in der Röhre ein leerer Raum, welchen man die Torricellische Leere oder das Torricellische Vakuum nennt; der Druck der Luft vermochte nicht so viel Quecksilber zu heben, daſs es den leeren Raum ausfüllte. Der Druck der Luft ist also (am Meeresspiegel) so groſs wie das Gewicht einer 760 mm hohen Quecksilbersäule. So gab die Torricellische Röhre die Gröſse des Luftdrucks an, und Torricelli erkannte richtig, daſs er damit ein Mittel besaſs, die Änderungen des Luftdrucks zu messen.

2. **Die Quecksilberbarometer** haben verschiedene Einrichtung.

I. **Das Gefäſsbarometer** (Fig. 228) besteht aus einer geraden, etwa 86 cm langen Glasröhre *B*, einem Gefäſs *G*, in welches die Röhre gestellt wird, und einer Skala (oder einem Maſsstab). **Die Röhre** ist, wenigstens in dem oberen Teile, überall gleich weit und oben geschlossen. Sie soll mindestens einen Durchmesser von 4 mm haben, damit das Quecksilber in ihr wegen der Haarröhrchenwirkung (§ 102, 2, S. 120) nicht allzu tief steht. **Das Gefäſs** ist im Vergleich zur Röhre sehr weit, oben offen und enthält zum Teil Quecksilber. Die Röhre wird mit gereinigtem Quecksilber gefüllt und über glühenden Kohlen ausgekocht, damit keine Luft und keine Feuchtigkeit darin bleibt. Taucht man das offene Ende der gefüllten Röhre in das Gefäſs mit Quecksilber, und gibt man der Röhre lotrechte Stellung, so bildet sich in derselben oben über dem Quecksilber ein luftleerer Raum, die Torricellische Leere. Das Quecksilber in der Röhre sinkt, bis es in ihr ungefähr 760 mm höher steht als der Quecksilberspiegel im Gefäſse. Der Druck der Luft, welcher auf dem Quecksilberspiegel im Gefäſs lastet, sich durch die Flüssigkeit verbreitet und unter der Röhre nach oben gerichtet ist, hält der 760 mm hohen Quecksilbersäule in der Röhre das Gleichgewicht. Die Höhe der von der Luft getragenen Quecksilbersäule heiſst der Barometerstand oder die Barometerhöhe. **Die Skala** des Barometers trägt eine Einteilung in Millimeter und soll den Barometerstand anzeigen oder angeben, wieviel Millimeter sich das Quecksilber in der Röhre über den Quecksilberspiegel im Gefäſs erhebt. Der Anfangspunkt oder Nullpunkt *a* der Skala liegt in der Quecksilberoberfläche im Gefäſs, und der Barometerstand *ac* wird gemessen durch den lotrechten Abstand des höchsten Punktes der Quecksilberkuppe in der Röhre vom Quecksilberspiegel im Gefäſs. Weil das Gefäſs sehr weit ist, ändert sich in ihm bei der Änderung des Barometerstandes die Höhe des Quecksilberspiegels so gut wie gar nicht. Die Skala wird deshalb samt der Röhre und dem Gefäſs an einem Brettchen befestigt,

Fig. 227.

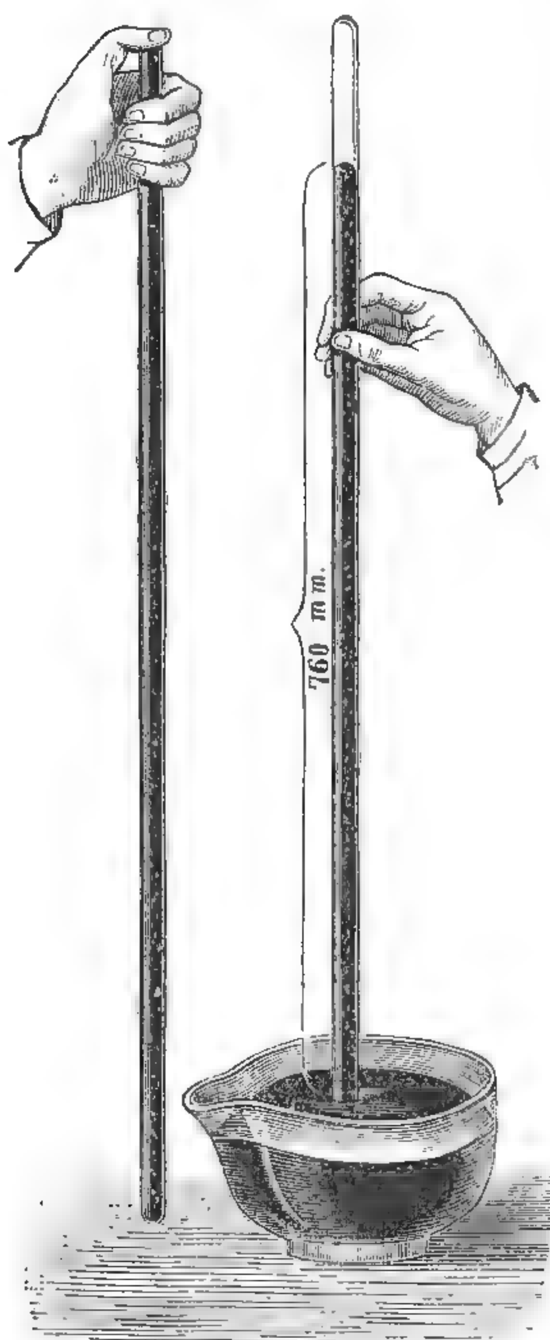
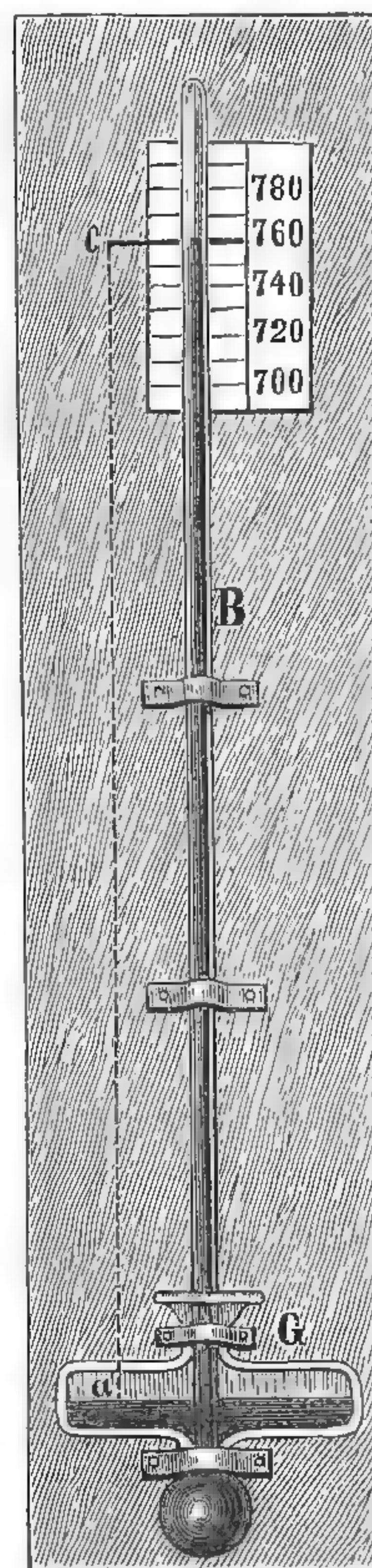


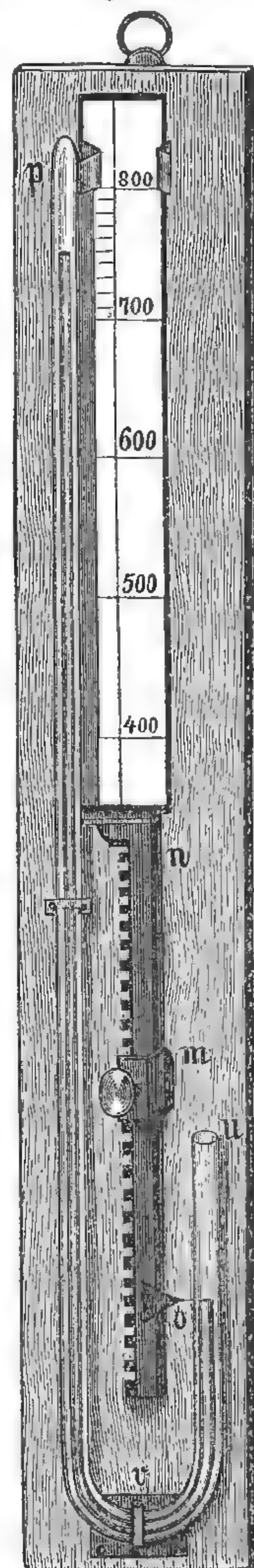
Fig. 228.



und weil der Barometerstand sich an einem Orte innerhalb bestimmter Grenzen ändert, wird nur ein Teil der Skala, nämlich für nicht hoch gelegene Gegenden die Strecke vom 695. bis zum 795. Millimeter, angebracht. Die Skala und die Barometerröhre müssen genau lotrechte Stellung haben. Wegen der Kapillardepression hat man für Röhren von 4 bis 6 mm Weite zu dem beobachteten Barometerstand 1 mm zu addieren *).

II. Am **Heberbarometer** (Fig. 229) ist die Glasröhre unten aufwärts gebogen und bildet dann noch eine Röhre, welche ebenfalls lotrechte Stellung hat. Es sind daher zwei zusammenhängende Röhren von gleicher Weite, aber ungleicher Höhe vorhanden. Die längere Röhre *vp* ist oben geschlossen und enthält den luftleeren Raum; die kürzere Röhre *vu* ist oben offen. Der Luftdruck wirkt auf das Quecksilber in der kürzeren Röhre und treibt es in der längeren, luftleeren Röhre bis zu der Höhe, welche dem Luftdruck entspricht. Gemessen wird derselbe durch den lotrechten Abstand der Quecksilberkuppen in beiden Röhren. Den Anfangspunkt der Skala bildet die Quecksilberkuppe in der kürzeren Röhre. Diese Quecksilberkuppe steigt, wenn das Quecksilber in der längeren Röhre fällt, und umgekehrt; der Anfangspunkt der Skala ist veränderlich. Deshalb ist es zweckmäfsig, wenn sich die Skala mittels eines Getriebes und einer gezahnten Stange *m* verschieben läfst. Vor jeder Beobachtung gibt man der Skala eine solche Stellung, dafs ihr Anfangspunkt *o* mit der Quecksilberkuppe in der kürzeren Röhre in einer wagerechten Linie liegt. Das Heberbarometer gewährt den Vorteil, dafs die Kapillarität nicht zu berücksichtigen ist, weil sie in beiden gleich weiten Röhren das Quecksilber gleich stark hinabzudrücken sucht; der Oberflächendruck in der einen Röhre ist ebenso grofs wie in der anderen, wirkt ihm entgegen und hebt ihn auf.

Fig. 229.



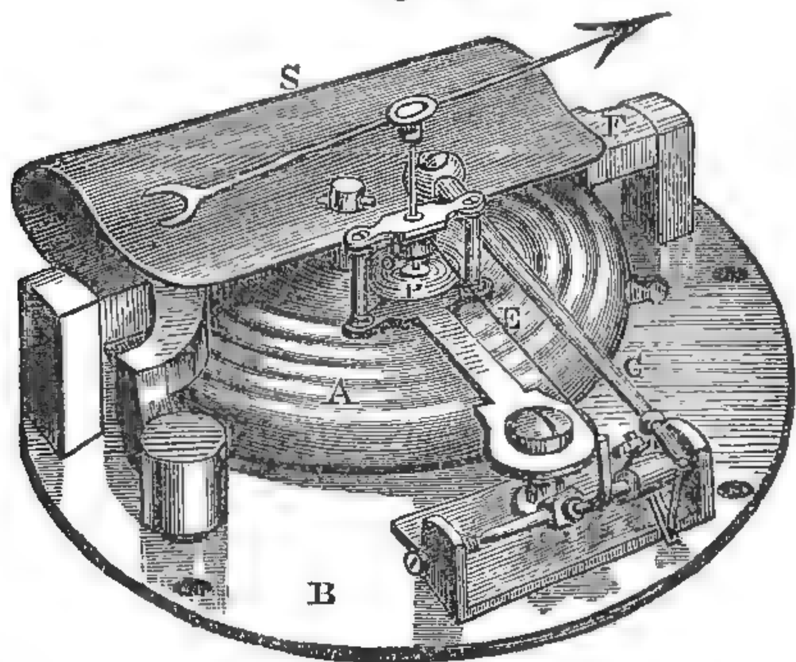
3. **Das Feder- oder Aneroidbarometer** (d. h. Barometer ohne Flüssigkeit) hat als Hauptbestandteile (Fig. 230) eine geschlossene, luftleere Metalldose *A* und eine starke Stahlfeder *S*. Der obere Boden der luftleeren Dose ist sehr dünn, kreisförmig kanneliert und deshalb sehr elastisch; an ihm ist mittels eines Stabes das freie Ende der starken, stählernen Feder *S* befestigt, welche den Boden nach oben zu ziehen strebt. Wird der Luftdruck gröfser, so drückt er den oberen Boden der Dose nach innen und überwindet dabei die Kraft der Feder, die er abwärts bewegt. Wird der Luftdruck geringer, so bewegt die Elastizität der Feder und die Elastizität des Bodens diesen nach oben. Die Wirksamkeit des Apparates beruht daher im wesentlichen auf dem Widerstreit des die Dose *A* zusammenpressenden Luftdruckes mit der elastischen Kraft der Feder *S*. Die Bewegungen der Feder *S* werden durch einen an der Feder befestigten Stab *C*, durch zwei Speichen einer wagerecht liegenden Welle und eine Kette *E* auf eine lotrechte Welle übertragen, an deren oberem Ende ein Zeiger befestigt ist. Die Skala für den Zeiger wird nach den Angaben eines Quecksilberbarometers gefertigt. Die Federbarometer besitzen als Zimmerbarometer hinreichende Genauigkeit; aber sie müssen, weil die Elastizität der Feder und des oberen

*) Über die nötigen Reduktionen siehe § 196, Anmerkung.

Bodens sich ändert, von Zeit zu Zeit nach einem genauen Quecksilberbarometer reguliert werden.

4. **Der Barograph** ist ein Barometer, welches die jeweilige Gröfse des Luftdruckes, bezogen auf ein Quecksilberbarometer, selbst aufzeichnet (Fig. 231). Mehrere fest miteinander verbundene luftleere Dosen bringen bei Veränderungen des Luftdruckes eine verstärkte Bewegung des oberen Deckels der obersten Dose hervor, welche mit Hilfe verschiedener Hebelübersetzungen die auf und nieder gehende Bewegung e'nes Farbstoff enthaltenden Stiftes, der am Ende eines langen Hebelarmes befestigt ist, bewirkt. Der Farbstift drückt leicht auf eine mit einem Papierstreifen überzogene Walze, die sich mit Hilfe eines Uhrwerkes gleichförmig in einer Woche einmal umdreht. Die wagerechten Linien des Papierstreifens bezeichnen die Höhe des Luftdrucks, die wegen der kreisförmigen Bewegung des Farbstiftes leicht gekrümmten vertikalen Linien die Zeit. Durch die auf und nieder gehende Bewegung des Farbstiftes und die Drehung der Walze wird auf dem Papierstreifen eine unregelmäfsig verlaufende Linie erzeugt, und zwar bezeichnet jeder Punkt dieser Linie den Luftdruck, der zu einer bestimmten Zeit geherrscht hat. Jede Woche mufs die Walze mit einem neuen Papierstreifen versehen werden.

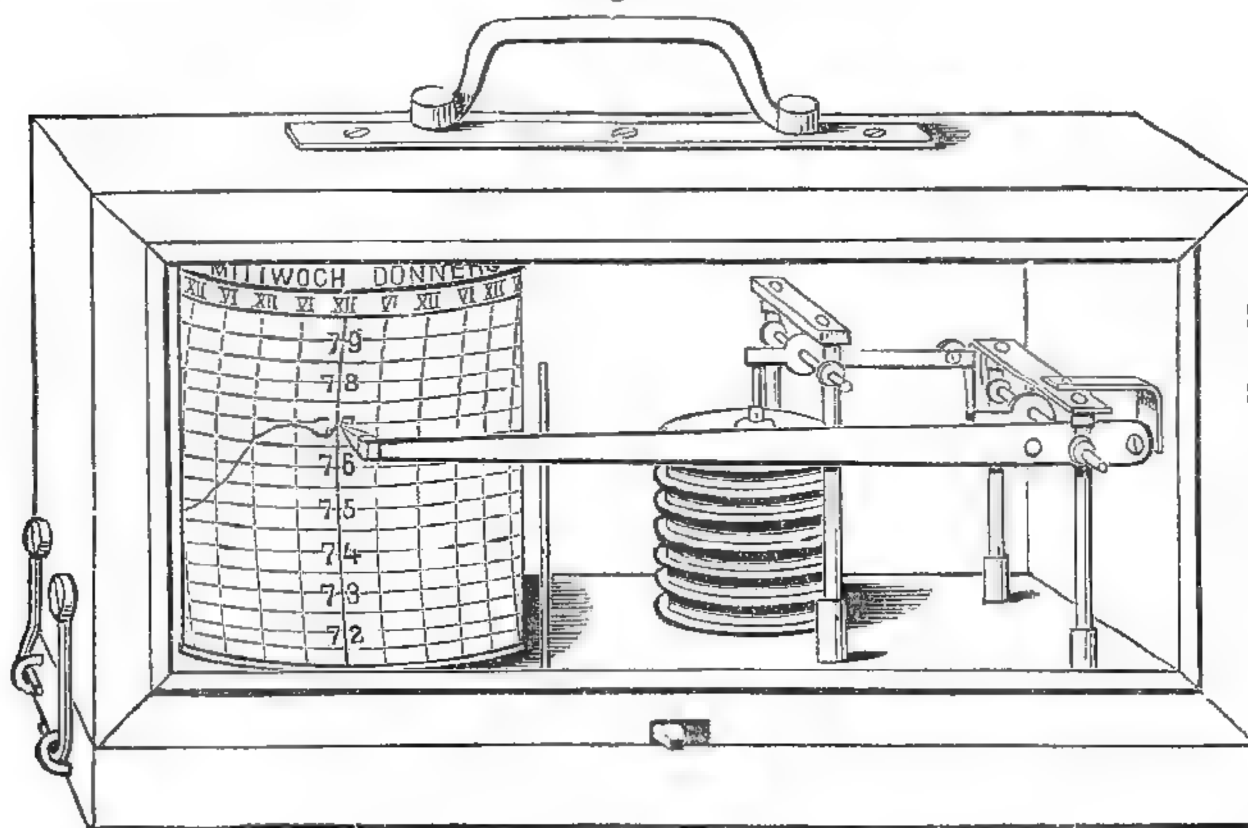
Fig. 230.



5. **Anwendungen des Barometers. Das Barometer dient:**

I. **Zum Messen des Luftdruckes.** Am Meeresspiegel steht das Quecksilber im Barometer durchschnittlich 76 cm hoch. **Der normale Luftdruck am Meeresspiegel ist** daher **gleich dem Gewicht einer 760 mm hohen Quecksilbersäule.** Ein Kubikcentimeter Quecksilber wiegt 13,59 g. Der Luftdruck lastet auf jedem Quadratcentimeter mit dem Gewicht einer Quecksilbersäule, die 76 Kubikcentimeter enthält und $76 \times 13{,}59 = 1033$ g oder ungefähr 1 kg schwer ist. **Der Luftdruck auf 1 Quadratcentimeter beträgt 1033 g** oder 1,033 kg. In der Technik bezeichnet man (abgerundet) den Druck von 1 kg auf 1 qcm als Druck von **1 Atmosphäre,** den Druck von 2 kg auf 1 qcm als Druck von 2 **Atmosphären** usf.

Fig. 231.



II. **Als Wetterglas.** Hergebracht, aber nicht ohne weiteres zutreffend, ist **die Wetterregel: Das Steigen des Barometers kündigt heiteres Wetter, das Fallen desselben schlechtes Wetter an. — Es kommt vielmehr für das Wetter darauf an, wie hoch das Barometer an einem Orte steht im Vergleich zu den Barometerständen in den ihn umgebenden Ländern und Meeren des Erdteils.** Und es gelten darüber folgende Regeln: 1. Wenn in einer Gegend unseres Erdteils das Barometer **höher** steht als ringsumher, so hat dieselbe anhaltend trockenes Wetter. 2. Wenn in einer Gegend das Barometer **tiefer** steht als ringsumher, so hat dieselbe schlechtes Wetter und nachher, wenn das Barometer steigt und Nordwestwind weht, heftige Regen- oder Schneeschauer, wechselnd mit heiterem Himmel (§ 196). 3. Wenn der südliche Teil einer Zyklone (§ 196) in der Richtung

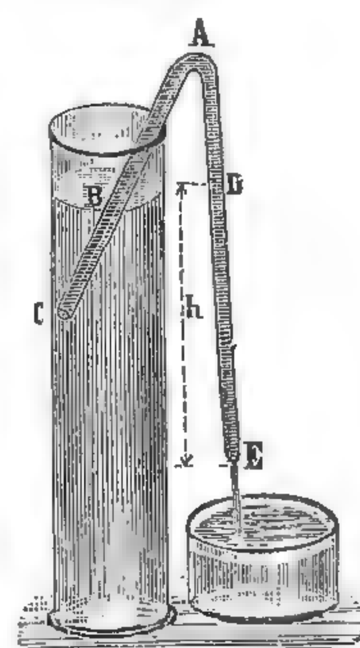
von Westen nach Osten über eine Gegend dahinzieht, so fällt daselbst das Barometer immer mehr; es dreht sich der Wind von SO nach S, SW nach W, bringt immer mehr dampfreiche Luft und veranlaſst anhaltende Niederschläge. Beim NW-Wind steigt das Barometer, und es beginnt die Aufklärung, wiederholt unterbrochen durch heftige Regen- oder Schneefälle. 4. Wenn beim Fallen des Barometers von SW, W oder NW in Menge **Federwolken**, welche von einer Depression auszugehen pflegen, heraufziehen (§ 199), so erfolgen innerhalb 24 Stunden Niederschläge. 5. Schnelles und bedeutendes Fallen des Barometers, während der Stand desselben in den angrenzenden Ländern viel höher bleibt, zeigt das Eintreten von Stürmen an*).

III. **Zu Höhenmessungen.** Der Luftdruck ist desto geringer, je höher man sich über den Meeresspiegel erhebt. Das Barometer steht deshalb desto tiefer, je beträchtlicher die Anhöhe ist, auf die man es mitnimmt. Aus dem Fallen des Barometers läſst sich daher die Höhe, in der sich der Bergsteiger oder Luftschiffer befindet, berechnen Vom Meeresspiegel aus muſs man sich (bei null Grad Wärme und 760 mm Druck) 10,5 m erheben, damit das Quecksilber 1 mm fällt; in der weniger dichten Luft höher gelegener Gegenden muſs man aber höher steigen, wenn das Quecksilber wieder ebensoviel fallen soll, bei 650 mm Druck 12,3 m, bei 550 mm 14,5 m, bei 450 mm 17,8 m, bei 350 mm 22,8 m. Der mittlere Barometerstand beträgt auf dem (1140 m hohen) Brocken 660 mm, auf der (1600 m hohen) Schneekoppe 625 mm, auf dem (4800 m hohen) Montblanc 420 mm, auf dem (6300 m hohen) Chimborasso 345 mm.

§ 112. Der Saugheber.

Der Saugheber (Fig. 232) ist eine gekrümmte, zweiarmige Röhre mit nach unten gekehrten Öffnungen. Um durch denselben Wasser aus einem Gefäſs abflieſsen zu lassen, muſs 1. der eine Arm *ABC* des Hebers in die Flüssigkeit eingetaucht werden; 2. muſs man den Heber so halten, daſs die Öffnung *E* des nicht eingetauchten Armes tiefer liegt als die Oberfläche der Flüssigkeit. Saugt man an der Öffnung des nicht eingetauchten Armes, so steigt die Flüssigkeit in dem Heber empor, füllt ihn ganz und flieſst, wenn man mit Saugen aufhört, ununterbrochen aus dem nicht eingetauchten Arme, bis die Flüssigkeitsoberfläche in einer wagerechten Ebene mit seiner Ausfluſsöffnung liegt. Beim Eintauchen des einen Armes stellt sich in ihm (§ 101) das Wasser ebenso hoch, wie es in dem Gefäſs steht, und beim Saugen treibt der Luftdruck Flüssigkeit in den Heber. Von der Schwerkraft abwärts gezogen, müſste nun die Flüssigkeit sich oben bei der Biegung *A* des Hebers teilen und aus beiden Armen ausflieſsen, wenn sie nicht vom nach oben wirkenden Luftdruck, der beide Flüssigkeitssäulen zu tragen vermag, zusammengehalten würde. Der Luftdruck macht die den Heber füllende Flüssigkeit zu einer zusammenhängenden Masse. Liegt nun die Öffnung *E* des nicht eingetauchten Armes in wagerechter Linie mit der Oberfläche der Flüssigkeit im Gefäſs, dann haben die Wassersäulen in beiden Armen gleiche Höhe und ein gleiches Bestreben, zu fallen; sie werden aber durch den Luftdruck, der an beiden Öffnungen gleich groſs ist, daran verhindert, und aus dem Heber flieſst nichts aus. Liegt aber die Öffnung des äuſseren Armes tiefer, dann ist die Wassersäule *AE* in ihm länger als die in dem eingetauchten Arme über der Flüssigkeitsoberfläche liegende *BA*. Folglich wird bei *E* von dem nach oben wirkenden Luftdruck ein gröſserer Teil durch den Gegendruck der Wassersäule aufgehoben als bei *B*, und daher wirkt der Luftdruck bei *B* um den Druck der Wassersäule *DE* stärker nach oben als bei *E* und bewegt das Wasser von *B* über *A* nach *E*. Der Vorgang läſst sich auch so auffassen: Der Luftdruck macht die Flüssig-

Fig. 232.



*) Über das Wetter vergl. noch §§ 194, 196; § 199.

keit im Heber zu einem zusammenhängenden Faden, dessen längeres Ende infolge seines Übergewichtes den Flüssigkeitsfaden nach unten zieht, gerade so wie ein über einer leicht drehbaren Rolle hängendes Seil nach unten gleitet, wenn der eine überhängende Teil länger ist als der andere. Hält man den Saugheber so, daſs die Öffnung des äuſseren Armes höher liegt als der Flüssigkeitsspiegel, so flieſst das Wasser in den Behälter zurück. Gewöhnlich wird der Saugheber zum Leeren der Fässer durch die oben befindliche Öffnung gebraucht.

§ 113. Saugpumpe, Druckpumpe und Feuerspritze.

1. **Die Saugpumpe** (Fig. 233). Die Hauptteile einer Pumpe sind das Pumpenrohr, der Kolben und die Ventile. Das Pumpenrohr trägt über der

Fig. 233.

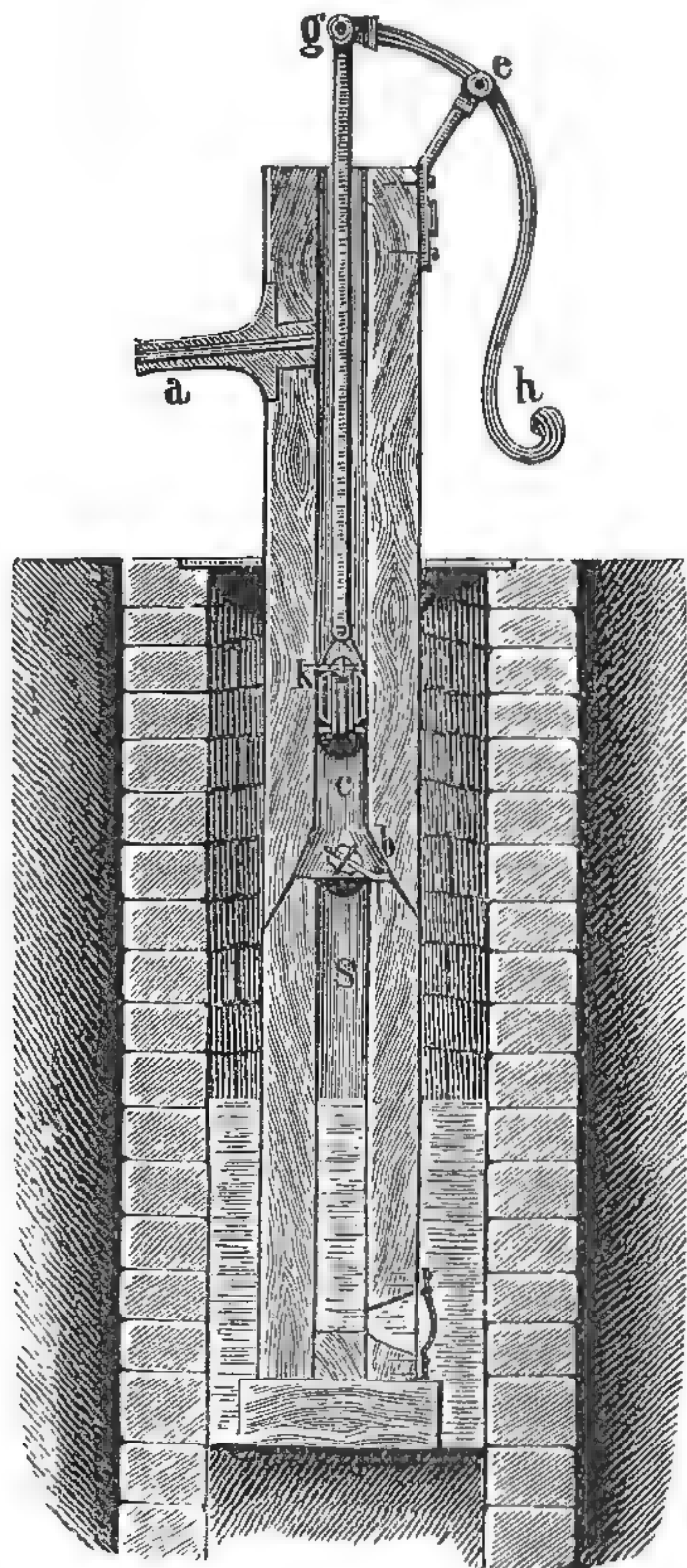
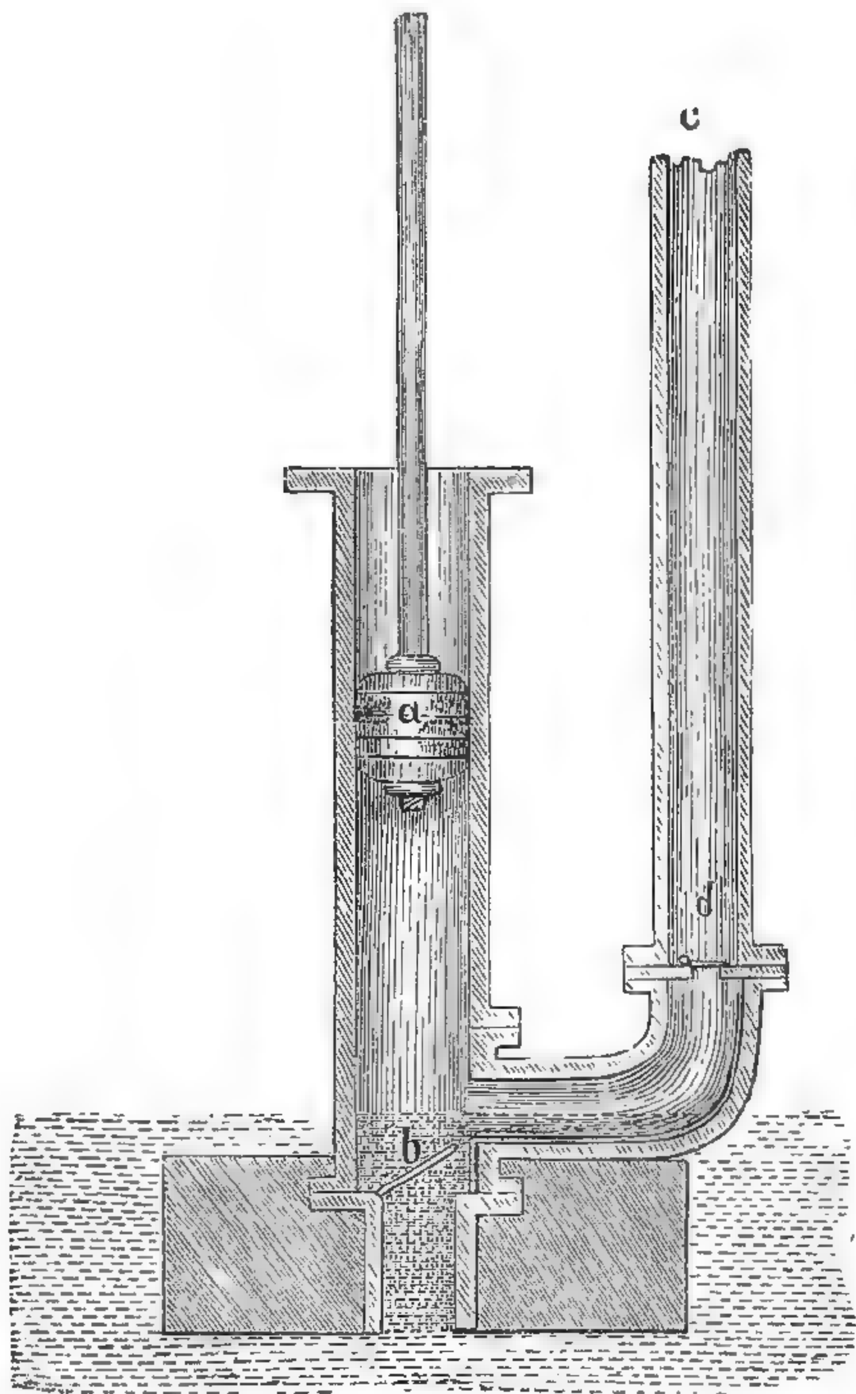


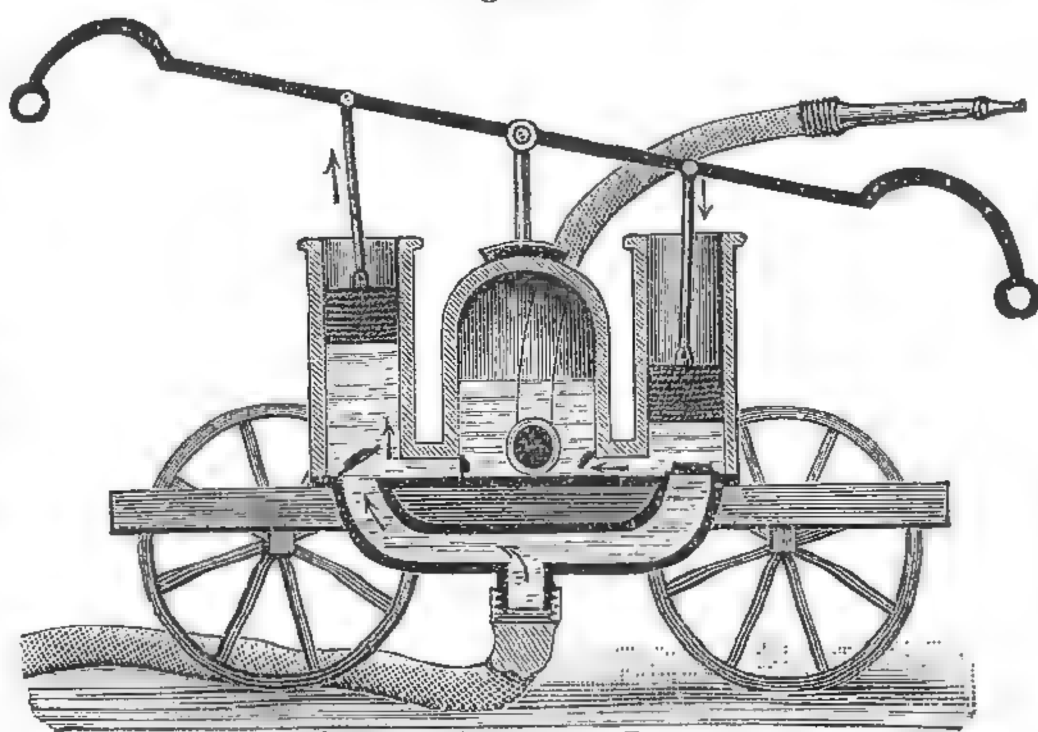
Fig. 234.



Erdoberfläche eine Ausfluſsröhre a, sein unterer Teil S reicht in das Wasser hinab und heiſst Saugrohr. Der Kolben, welcher durch den zweiarmigen Hebel heg mit Hilfe einer eisernen Kolbenstange auf und nieder bewegt wird, ist lotrecht durchbohrt und schlieſst luftdicht an die inneren Wände des Pumpenrohrs an. Die Ventile sind metallene, unten mit Leder überzogene Klappen, welche dem Wasser den Durchgang nur nach oben gestatten. Das Ventil b über dem Saugrohr heiſst das Saugventil; das zweite Ventil am Kolben heiſst das Kolbenventil. — Ist die Pumpe neu, und bewegt man den Kolben empor, so

wird das Kolbenventil durch sein Gewicht und den Luftdruck geschlossen; der Raum zwischen beiden Ventilen wird vergröſsert, und die Luft darin wird verdünnt. Die Luft in dem Saugrohr dringt zum Teil durch das Saugventil und verdünnt sich gleichfalls. Der äuſsere Luftdruck treibt im Saugrohr Wasser empor. Bewegt man dann den Kolben hinab, so wird die Luft zwischen beiden Ventilen zusammengedrückt, erhält gröſsere Spannkraft, schlieſst das Saugventil, öffnet sich das Kolbenventil, und ein Teil derselben entweicht ins Freie. Wird der Kolben wieder emporgezogen, so wird die Luft im Pumpenrohr noch mehr verdünnt; das Wasser im Saugrohr steigt und tritt nach mehreren Bewegungen des Kolbens über das Saugventil. Bewegt man den Kolben hinab, so entweicht alle Luft durch das Kolbenventil; es dringt Wasser durch das Kolbenventil, steht über dem Kolben und wird zugleich mit ihm emporgehoben. Nun ist die Pumpe zum Gebrauch fertig; jeder neue Kolbenhub hebt erstens das über ihm befindliche Wasser bis zur Ausfluſsröhre *a* und saugt zweitens unter sich Wasser aus dem Saugrohr empor.

2. **Die Druckpumpe** (Fig. 234) unterscheidet sich von der Saugpumpe folgendermaſsen: 1. Der Kolben der Druckpumpe ist nicht durchbohrt; 2. statt der Ausfluſsröhre führt aus dem unteren Teil des Pumpenrohrs eine Steigröhre *dc*, die oft nach oben umgebogen ist, und 3. befindet sich in der Steigröhre ein Druckventil *d*, das sich nur nach auſsen öffnet. Bewegt man den Kolben empor, so wirkt er saugend. Wird dagegen der Kolben hinabbewegt, so übt er einen Druck aus, anfänglich auf die Luft und nachher auf das Wasser. Es öffnet sich das Druckventil, und Luft und nachher Wasser steigen in der Steigröhre empor. Die Druckpumpe wird angewandt, wenn man Wasser auf gröſsere Höhen oder in die Kessel der Dampfmaschinen schaffen will, bei der hydraulischen Presse, der Feuerspritze usf.


Fig. 235.

3. **Die Feuerspritze** (Fig. 235). Zu dem unten befindlichen Spritzenkasten führt der Schlauch der Wasserleitung. Der Spritzenkasten steht durch zwei Ventile mit zwei metallenen Druckpumpen in Verbindung, deren Pumpenstangen sich mittels einer eisernen Druckstange auf und nieder bewegen lassen. Zwischen beiden Pumpen ist der Windkessel angebracht, ein weiter, verschlossener Zylinder, aus dessen unterem Teile ein Rohr herausführt, an welches der Spritzenschlauch angeschraubt ist. Durch die Pumpen, aus denen Röhren in den Windkessel führen, wird stoſsweise Wasser in denselben geschafft, und die Luft durch das eintretende Wasser immer mehr zusammengepreſst; die zusammengepreſste Luft drückt infolge ihrer vergröſserten Spannkraft auf die Seitenwände und den Wasserspiegel des Windkessels. Wegen der Fortpflanzung des Druckes in dem Wasser wird durch die aus dem Windkessel führende Röhre und den daran geschraubten Schlauch ein ununterbrochener Wasserstrahl emporgetrieben (siehe § 120).

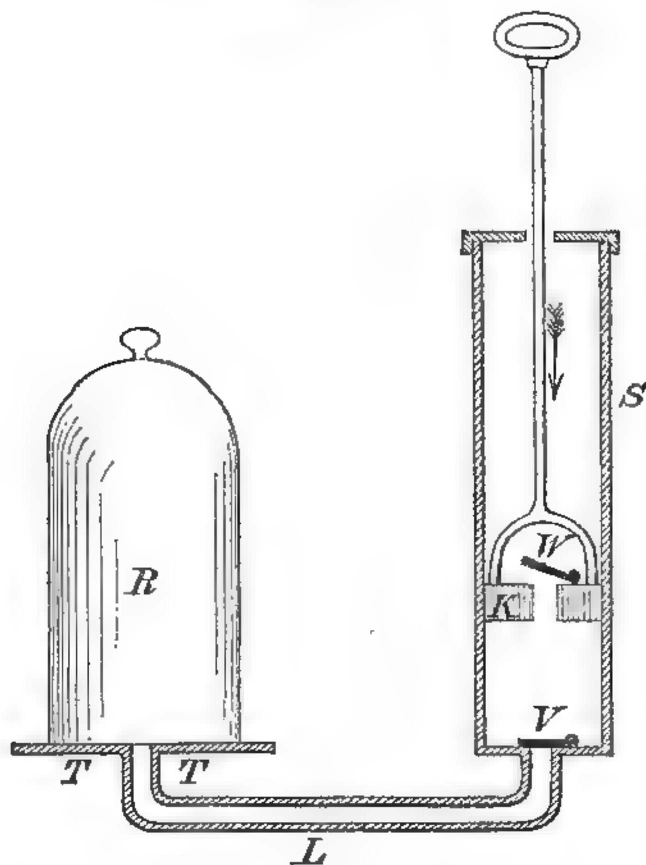
§ 114. Die Luftpumpe.

Das Instrument zum Verdünnen der Luft ist **die Luftpumpe** (Evakuations- oder Verdünnungspumpe), welche 1650 Otto von

Guericke, Bürgermeister zu Magdeburg, erfunden hat. Die Luftpumpe ist daher eine deutsche Erfindung. Man unterscheidet Ventilluftpumpen und Hahnluftpumpen.

1. **Die Ventilluftpumpe** (Fig. 236) besitzt einen Stiefel *S*, einen hohlen, sorgfältig ausgeschliffenen Metallzylinder, der am Boden mit einem Ventil *V* aus Wachstaffet versehen ist, das sich nur nach oben öffnet. In dem Zylinder läfst sich ein luftdicht schliefsender Kolben *K* bewegen, der in der Mitte durchbohrt und mit einem sich ebenfalls nur nach oben öffnenden Ventil *W* versehen ist. Die Einrichtung des Kolbens und der Ventile ist also so wie bei der Saugpumpe. Die Glasglocke *R* oder überhaupt das Gefäfs, das luftleer gemacht werden soll, wird der Rezipient genannt und steht, nachdem es unten mit Talg bestrichen ist, luftdicht anschliefsend auf einer horizontalen Metallscheibe, dem Teller *T*; der Rezipient ist durch die enge Leitungsröhre *L* mit dem Stiefel verbunden.

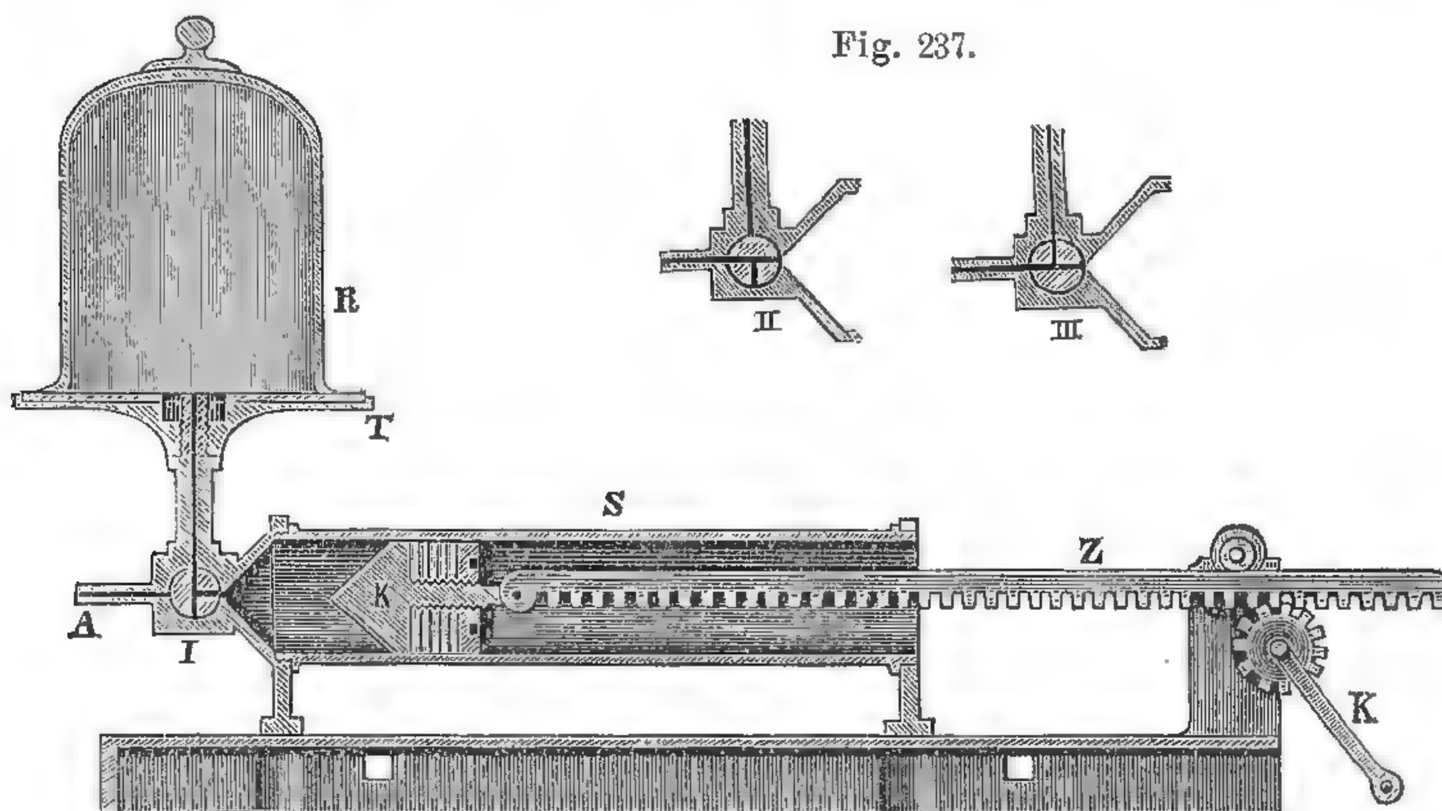
Fig. 236.



Wird der Kolben emporgezogen, so schliefst der Luftdruck das Kolbenventil, und unter dem Kolben entsteht ein luftverdünnter Raum. Wegen ihrer Spannkraft dringt sogleich Luft aus dem Rezipienten nach der Röhre *L*, öffnet das Bodenventil *V* und dringt nach dem Stiefel in den Raum unter dem Kolben; die Luft des Rezipienten hat sich daher verdünnt. Schiebt man den Kolben wieder nieder, so wird die unter ihm befindliche Luft zusammengeprefst, schliefst das Ventil *V*, öffnet sich aber das Kolbenventil *W* und strömt durch dasselbe aus. Wiederholtes Auf- und Niederschieben des Kolbens verdünnt die Luft im Rezipienten immer mehr, bis deren Spannkraft zu klein ist, um das Bodenventil zu öffnen. Eine weitere Verdünnung der Luft ist dann nicht zu erreichen.

2. **Die Hahnluftpumpen** (Fig. 237) haben einen nicht durchbohrten Kolben *K* und nahe am Boden des Stiefels *S* einen im rechten Winkel doppelt durchbohrten Hahn, der vor jeder Bewegung des Kolbens gedreht werden mufs. Die eine Durchbohrung geht quer durch den Hahn hindurch; die zweite Durchbohrung steht rechtwinklig auf der ersten und ist in deren Mitte mit dieser in Verbindung, geht aber nur durch die eine Hälfte des Hahnes hindurch. Die Verdünnung der Luft im Rezipienten oder das Evakuieren geschieht auf folgende Weise. Man gibt dem Hahn eine solche Stellung (Nr. I in Fig. 237), dafs die Verbindung

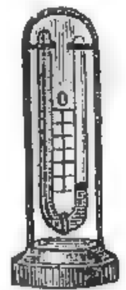
Fig. 237.



zwischen dem Rezipienten und dem Stiefel hergestellt ist, und zieht den Kolben vorwärts, von dem Boden des Stiefels hinweg. Zwischen dem Kolben und dem Boden des Stiefels entsteht ein luftverdünnter Raum; die im Rezipienten und der Verbindungsröhre enthaltene Luft dehnt sich wegen ihrer gröfseren Spannkraft aus und füllt, indem sie sich verdünnt, auch den Stiefel. Darauf stellt man den Hahn wie in Nr. II, so dafs der Rezipient abgesperrt ist und eine Verbindung zwischen dem Stiefel und der Atmosphäre besteht, und schiebt den Kolben zurück bis an den Boden des Stiefels. Dabei wird die Luft aus dem Stiefel durch die den Hahn völlig durchsetzende Bohrung hinausgetrieben. Durch Drehen des Hahns setzt man wieder den Rezipienten und den Stiefel in Verbindung (Stellung I) und zieht den Kolben vom Boden des Stiefels hinweg. Bei jeder Wiederholung dieses Verfahrens wird die Luft mehr verdünnt, indem sie beim Vorwärtsziehen des Kolbens sich ausdehnt und beim Zurückschieben des Kolbens zum Teil hinausgetrieben wird. Bei gröfseren Luftpumpen wird die Bewegung des Kolbens durch ein Kurbelgetriebe K' bewirkt, welches in eine Zahnstange Z eingreift. Weil aber durch das Zurückschieben des Kolbens jedesmal nur ein Teil der verdünnten Luft entfernt wird, bleibt im Rezipienten einer Luftpumpe immer Luft zurück, und es läfst sich durch eine Luftpumpe nicht ein vollkommen luftleerer Raum herstellen, sondern nur ein luftverdünnter Raum.

Der Grad der Verdünnung, welcher durch eine Luftpumpe erreicht werden kann, wird durch **die Barometerprobe** gemessen, die unter den Rezipienten gestellt wird. Die Barometerprobe ist (Fig. 238) ein kleines Heberbarometer, dessen Röhren 20 cm lang sind; die geschlossene Röhre ist wegen ihrer Kürze bei normalem Luftdruck ganz mit Quecksilber gefüllt, besitzt also zunächst keine Torricellische Leere. Die Dichte der Luft wird in demselben Mafse geringer, in welchem der Druck der Luft abnimmt (§ 117, 3). Der Druck der atmosphärischen Luft hält einer Quecksilbersäule von 760 mm das Gleichgewicht. Hält aber in einer sehr guten Luftpumpe der Druck der verdünnten Luft nur einer 1 mm hohen Quecksilbersäule das Gleichgewicht, so beträgt die Dichte der verdünnten Luft 1/760 von der Dichte der uns umgebenden Luft. Durch die gewöhnlichen Luftpumpen läfst sich eine solche Verdünnung nicht erreichen. Bei den Hahnluftpumpen gibt es einen „schädlichen Raum", der eine völlige Evakuierung nicht gestattet. Dies ist die Bohrung des Hahnes, welche bei jeder Drehung aus der Stellung II in die Stellung I von neuem eine kleine Menge Luft von gewöhnlicher Dichte in den Rezipienten bringt. Diese Bohrung mufs daher möglichst klein sein. Deshalb läfst sich mit gewöhnlichen Luftpumpen die Verdünnung nur so weit treiben, dafs die Luft im Rezipienten einer 3 mm hohen Quecksilbersäule das Gleichgewicht hält. Die Dichte der Luft beträgt dann 3/760 oder ungefähr 1/250 von der Dichte der uns umgebenden Luft. Ein viel höherer Grad der Verdünnung läfst sich durch die Quecksilberluftpumpen bewirken, die 1855 von Geifsler erfunden wurden und auf der Herstellung einer Torricellischen Leere beruhen. Dieselben sind nötig, um die Vakuumröhren und die Glasgefäfse der elektrischen Glühlichtlampen zu evakuieren.

Fig. 238.



§ 115. Versuche mit der Luftpumpe und Anwendungen derselben.

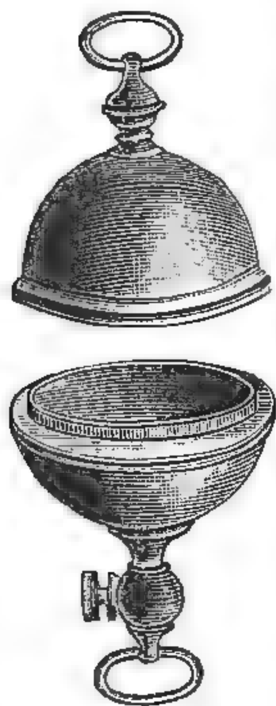
Durch die Versuche mit der Luftpumpe wird bewiesen:

I. Die Schwere der Luft. 1. Eine hohle Glaskugel wird leichter, wenn die Luft in derselben möglichst verdünnt wird. Man wendet die Luftpumpe an, um das Gewicht der luftförmigen Körper zu finden (§ 108).

II. Der Druck der Luft. 2. Eine gläserne Glocke, unter welcher die Luft verdünnt worden ist, wird von der atmosphärischen Luft fest auf den Teller der Luftpumpe gedrückt. 3. Stellt man einen Zylinder, über den oben ein Stück von dünnem Gummi gespannt ist, auf den Teller, so wird dieses nach wenigen Kolbenzügen durch den Luftdruck stark nach innen gebogen. 4. Stellt man auf den Teller einen Glaszylinder, der oben durch einen ausgehöhlten und mit Quecksilber gefüllten hölzernen Deckel verschlossen ist, so wird, wenn die Luft in dem Zylinder verdünnt wird, das Quecksilber durch die Poren des Holzes geprefst und fällt in

dem Zylinder als ein feiner Quecksilberregen hinab. 5. In der Barometerprobe sinkt das Quecksilber desto mehr, je mehr die Luft verdünnt wird. 6. Aus einem oben verschlossenen Stechheber fliefst im luftverdünnten Raum das Wasser aus, weil der sehr geringe Druck verdünnter Luft dem Gewicht des Wassers zu wenig Widerstand leistet. 7. Die Magdeburger Halbkugeln (Fig. 239), zwei hohle Halbkugeln aus Metall, deren breite Ränder genau aneinanderpassen, werden, wenn aus ihnen möglichst viel Luft gepumpt ist, durch die sie umgebende Luft so fest aneinandergedrückt, dafs sie sich sehr schwer trennen lassen. Otto von Guericke zeigte seine ziemlich grofsen Halbkugeln vor Kaiser Ferdinand III. auf dem Reichstage zu Regensburg 1654; es vermochten 16 Pferde (auf jeder Seite 8) nur mit gröfster Anstrengung die Halbkugeln, nachdem die in ihnen enthaltene Luft stark verdünnt worden war, voneinander loszureifsen, wobei ein heftiger Knall erfolgte. 8. Stellt man auf den Luftpumpenteller einen unten offenen, oben verschlossenen Metallzylinder, in welchen eine lange wagerechte Glasröhre mit einem gut schliefsenden Kolben eingefügt ist, so bewegt sich dieser beim Auspumpen der Luft von dem freien Ende der Röhre bis zum Zylinder, getrieben durch den Druck der Atmosphäre.

Fig. 239.



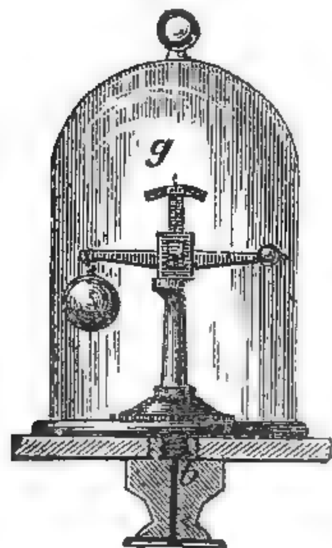
In ähnlicher Weise findet die Luftpumpe samt der Kompressionspumpe bei der Rohrpost oder pneumatischen Beförderung von Depeschen Anwendung; es führt von einer Station zur anderen eine unterirdische eiserne Röhrenleitung; in diese werden mit Depeschen gefüllte Blechbüchsen und ein Kolben eingeschoben und werden in einer Richtung durch komprimierte Luft bewegt, in der entgegensetzten Richtung aber, nachdem die eingeschlossene Luft verdünnt ist, durch den Druck der Atmosphäre.

9. Ein Stück Holz von bekanntem Gewicht wird in ein Trinkglas gelegt, mit einem Stein belastet und mit Wasser übergossen. Stellt man das Glas unter den Rezipienten und pumpt Luft aus, so dringt die in den Poren des Holzes enthaltene Luft heraus, und die Poren werden fast luftleer. Läfst man dann durch Öffnen eines Hahnes von aufsen Luft in den Rezipienten eintreten, so treibt der Luftdruck Wasser in die Poren des Holzes, und dasselbe wird schwerer.

Im grofsen findet eine solche Anwendung der Verdünnungspumpe und des Luftdrucks statt, um Hölzer, z. B. Eisenbahnschwellen, Telegraphenstangen, mit Flüssigkeiten zu imprägnieren oder zu tränken, welche denselben eine gröfsere Dauerhaftigkeit verleihen.

III. Das Bestreben der Luft, sich auszudehnen. 10. Ein zugebundener, zusammengedrückter, wenig Luft enthaltender Gummiballon oder eine Schweinsblase wird unter dem Rezipienten durch die in ihm befindliche Luft immer mehr ausgedehnt (§ 107). 11. Aus einem halb gefüllten Heronsball (§ 120) springt unter der Glocke Wasser empor, weil die Luft im Heronsball sich ausdehnt.

Fig. 240.



IV. Der Gewichtsverlust der Körper in der Luft (§ 107). 12. Man hängt an den einen Arm eines kleinen Wagebalkens (Fig. 240) eine hohle Kugel und an den andern Arm ein Stück Blei, so dafs sich beide das Gleichgewicht halten. Stellt man nun die Vorrichtung unter den Rezipienten der Luftpumpe, so sinkt die Kugel allmählich desto tiefer, je mehr die Luft verdünnt wird, und gewinnt das Übergewicht. Die Kugel erscheint in der Luft ein wenig leichter, als im luftverdünnten Raum. Wegen des Auftriebs verliert jeder Körper in der Luft so viel von seinem Gewicht, als die von ihm verdrängte Luftmenge wiegt.

V. Der Widerstand, den die Luft fallenden Körpern entgegenstellt. 13. Alle Körper, z. B. eine Münze und eine Feder, fallen in einer Glasröhre, in welcher man die Luft stark verdünnt hat, gleich schnell (§ 61).

VI. Der Widerstand, den der Druck der Luft der Dampfbildung in einer Flüssigkeit entgegensetzt. 14. Im luftverdünnten Raum kocht lauwarmes Wasser; es verwandelt sich leichter in Dampf, weil der geringere Luftdruck die Erweiterung und das Aufsteigen der Dampfblasen weniger erschwert.

Die Zuckerfabriken wenden Luftpumpen an, um ihre grofsen, kugelförmigen Kessel, die Vakuumpfannen, möglichst luftleer zu machen; in diesen wird der gereinigte Zuckersaft, welcher bei einer höheren Temperatur nachteilige Veränderungen erleiden würde, bei einer Wärme von 60 Grad eingekocht.

VII. Die Kälte, die bei der Verdunstung entsteht (§ 179). 15. Befindet sich unter der Glocke der Luftpumpe über einem Uhrglase mit Wasser ein Uhrglas voll Schwefeläther, so verwandelt sich das Wasser in Eis. Der Schwefeläther verdunstet in einem luftverdünnten Raum noch schneller als sonst, und dadurch entsteht eine Kälte, bei der das Wasser gefriert. Daher bildet die Luftpumpe einen Hauptbestandteil der Eismaschinen, welche durch die Verdunstung von Äther im luftverdünnten Raum künstliches Eis in grofsem Mafsstabe herstellen.

VIII. Die Leitung des Schalles durch die Luft (§ 122). 16. Der Ton eines unter dem Rezipienten hängenden Glöckchens oder eines auf Watte stehenden Weckers wird beim Verdünnen der Luft fast nicht gehört. Der Schall wird durch verdünnte Luft nur schwach weiter getragen und verbreitet sich nicht durch den luftleeren Raum.

IX. Die Notwendigkeit der Luft oder vielmehr ihres Sauerstoffs zum Brennen und Leben. 17. In verdünnter Luft erlöschen Lichter, und 18. Stahl gibt keine Funken. 19. Pulver entzündet sich unter dem Rezipienten nicht. 20. Tiere sterben im luftverdünnten Raume.

§ 116. Gegenseitige Durchdringung luftförmiger Körper oder der Gase.

Das spezifische Gewicht des Wasserstoffs beträgt den 22. Teil von dem der luftförmigen Kohlensäure. Befindet sich nun in einem Glase Kohlensäure und darüber ein umgekehrtes Glas mit Wasserstoff, so bleibt weder aller Wasserstoff in dem oberen, noch die schwerere Kohlensäure in dem unteren Glase. Untersucht man nach einiger Zeit beide Gefäfse durch Eingiefsen von Kalkwasser, so zeigt sich, dafs die Kohlensäure sich allmählich auch in das obere Glas ausgebreitet hat; ebenso ist auch Wasserstoff in die Kohlensäure eingedrungen. Es hat eine **Durchdringung oder Diffusion** beider Gase oder Luftarten stattgefunden. Jedem luftförmigen Körper bieten sich zwischen den Teilen eines anderen Gases unzählige Zwischenräume dar; weil seine Teile sich voneinander entfernen, breiten sie sich durch die Zwischenräume des andern Gases zwar langsamer, aber sonst ebenso aus, als ob das andere Gas nicht vorhanden, sondern der Raum vollständig leer wäre. Es gilt das **Gesetz: Jedes Gas breitet sich innerhalb eines andern allmählich ebenso aus wie in einem völlig leeren Raume.**

b) Die Spannkraft verdichteter Luft.

§ 117. Das Boyle-Mariottesche Gesetz.

Schiebt man in eine unten verschlossene **Röhre**, die Luft enthält, einen luftdicht schliefsenden Kolben nur wenig hinein, so wird er durch die Luft in der Röhre nicht emporbewegt; die Luft ist nur wenig verdichtet, und ihre Spannkraft vermag die Reibung zwischen dem Kolben und den Wänden der Röhre nicht zu

überwinden. Stöfst man aber den Kolben weiter hinein, so wird er durch die Luft in der Röhre wieder emporbewegt; dieselbe ist mehr zusammengeprefst, und ihre Spannkraft ist gröfser geworden. In der **Knallbüchse** (Fig. 241) wird Luft zwischen zwei Pfropfen *A* und *B* eingeschlossen und durch das Hineinschieben des einen immer mehr zusammengeprefst; sie erlangt durch die zunehmende Verdichtung hinreichende Kraft, um den anderen Pfropfen *A* hinauszutreiben. In demselben Mafse, wie die Luft zusammengedrückt wird, wächst ihr Bestreben, sich auszudehnen, und der Druck, den sie auf die Wände des Behälters ausübt. Ähnlich wirkt das **Blaserohr.** Es gilt der Satz: Je kleiner der Raum ist, auf den eine Luftmenge zusammengedrückt wird, um so gröfser ist ihre Spannkraft.

Fig. 241.

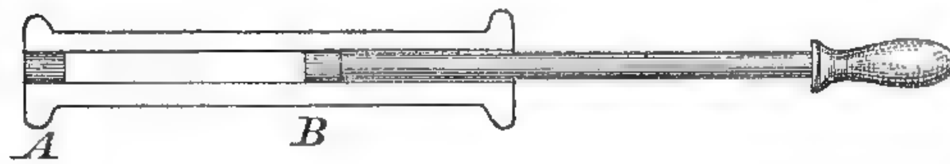
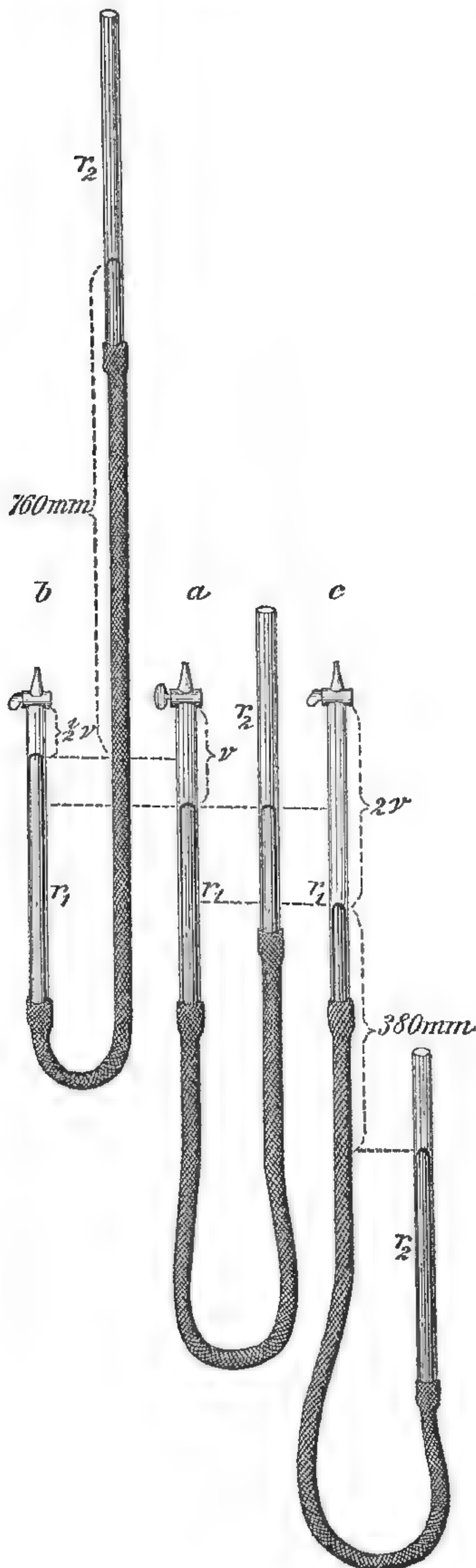


Fig. 242.



1. Zum genauen Nachweise über den **Zusammenhang zwischen Druck und Volumen einer Luftmenge** bedient man sich zweckmäfsig des Weinholdschen Apparates, der unter Weglassung des Stativs in Fig. 242 dargestellt ist. Zwei zusammenhängende Röhren r_1 und r_2 sind mittels eines übersponnenen Gummischlauches verbunden; r_1 ist fest am Stativ, innen überall gleich weit und oben mit einem Hahn verschliefsbar. Die Röhre r_2 läfst sich lotrecht am Stativ, welches eine Centimetereinteilung trägt, auf und ab schieben; beide Röhren enthalten Quecksilber. Ist der Hahn geöffnet, so stellt sich in beiden Röhren das Quecksilber gleich hoch (Fig. a). Schliefst man den Hahn, so ist in der Röhre r_1 zwischen Hahn und Quecksilber ein Luftvolumen v abgeschlossen, welches unter dem Druck einer Atmosphäre steht.

2. Hebt man dann die Röhre r_2, so verkürzt sich unten der Gummischlauch, das Quecksilber hat unten weniger Raum und beide Quecksilbersäulen müssen in die Höhe steigen. Während aber die Säule, die sich in der Röhre r_2 befindet (indem sie in der Röhre selbst etwas fällt), unbehindert in die Höhe steigt, findet die andere Quecksilbersäule an der Spannkraft der in der Röhre r_1 eingeschlossenen Luft einen erheblichen Widerstand und steigt daher nicht so hoch, wie die andere Quecksilbersäule. Hebt man die Röhre r_2 so hoch, dafs die Quecksilbersäule in dieser Röhre um den herrschenden Barometerstand höher steht, als in der Röhre r_1 (Fig. b), so erfährt nach den Gesetzen der Fortpflanzung des Druckes in einer Flüssigkeit das in der Röhre r_1 abgesperrte Luftvolumen offenbar den Druck von zwei Atmosphären, denn aufser dem eine Atmosphäre ausmachenden Drucke der höher stehenden Quecksilbersäule lastet auf dem offenen Schenkel der Röhre r_2 noch der Druck der Luft. Das abgesperrte Luftvolumen beträgt aber in diesem Falle nur noch v/2, die Hälfte des Volumens, welches es besafs, als es unter dem Drucke von nur einer Atmosphäre stand. Der auf der abgesperrten Luftmenge

lastende Druck hat sich verdoppelt, und dadurch ist die abgesperrte Luftmenge auf die Hälfte des ersten Volumens zusammengeprefst worden. Dem verdoppelten äufseren Drucke leistet auch eine verdoppelte Spannkraft der eingeschlossenen Luft Widerstand; mit der Spannkraft hat sich auch die Dichte der Luft verdoppelt. Ebenso läfst sich zeigen, dafs bei verdreifachtem Drucke das Volumen der Luftmenge nur noch den dritten Teil des Volumens beträgt, welches die Luftmenge bei einfachem Druck hatte usf.

3. Man senke die Röhre r_2 wieder so weit, bis das Quecksilber in beiden Röhren gleich hoch steht; dabei erlangt die in r_1 abgesperrte Luftmenge wieder ihr ursprüngliches Volumen v und steht unter dem Drucke einer Atmosphäre. Bei weiterer Senkung der Röhre r_2 sinkt das Quecksilber beider Röhren, das in r_2 aber stärker als in r_1. Beträgt der Höhenunterschied zwischen beiden Quecksilbersäulen gerade die Hälfte des herrschenden Barometerstandes, so hat sich das Volumen der abgesperrten Luft verdoppelt, es beträgt 2v (Fig. c). Die Hälfte des vollen Atmosphärendruckes, der auf der offenen Röhre r_2 lastet, wird in der Röhre r_1 durch eine dem halben Barometerstand gleiche Quecksilbersäule ausgeglichen, so dafs die in r_1 abgesperrte Luftmenge nur unter dem Drucke einer halben Atmosphäre steht. Der auf die abgesperrte Luft einwirkende Druck ist auf die Hälfte gesunken, und daher hat sich die abgesperrte Luft auf das doppelte Volumen ausdehnen können. Mit dem äufseren Drucke ist auch die diesem Drucke Gleichgewicht haltende Spannkraft auf die Hälfte gesunken, während, wegen der Verdoppelung des Volumens, die Dichte der Luft nur noch halb so grofs ist als vorher. Entsprechend verläuft der Versuch, wenn der äufsere Druck auf den dritten Teil vermindert wird. Wie mit Luft, lassen sich diese Versuche, die unter der Voraussetzung gemacht sind, dafs sich die Temperatur der abgesperrten Luft nicht ändert, mit allen gasförmigen Körpern anstellen. Es gilt das

Boyle-Mariottesche Gesetz: Der Rauminhalt eines gasförmigen Körpers ändert sich umgekehrt, die Dichte gerade so wie der äufsere Druck oder die Spannkraft, wenn die Temperatur die gleiche bleibt.

§ 118. Taucherglocke und Taucheranzug.

1. Wenn man in ein Gefäfs mit Wasser ein umgekehrtes Becherglas taucht (Fig. 243), so dringt um so mehr Wasser in dieses Glas ein, je tiefer das Becherglas eingetaucht wird. Aber nie dringt das Wasser bis in den oberen Teil des Glases ein, denn die dort befindliche Luft kann nicht entweichen, sondern wird durch das eindringende Wasser nur immer mehr zusammengeprefst, weil der Druck nach unten zu wächst (§ 51, 2; § 100).

Fig. 243.

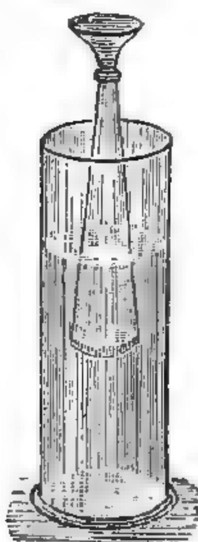
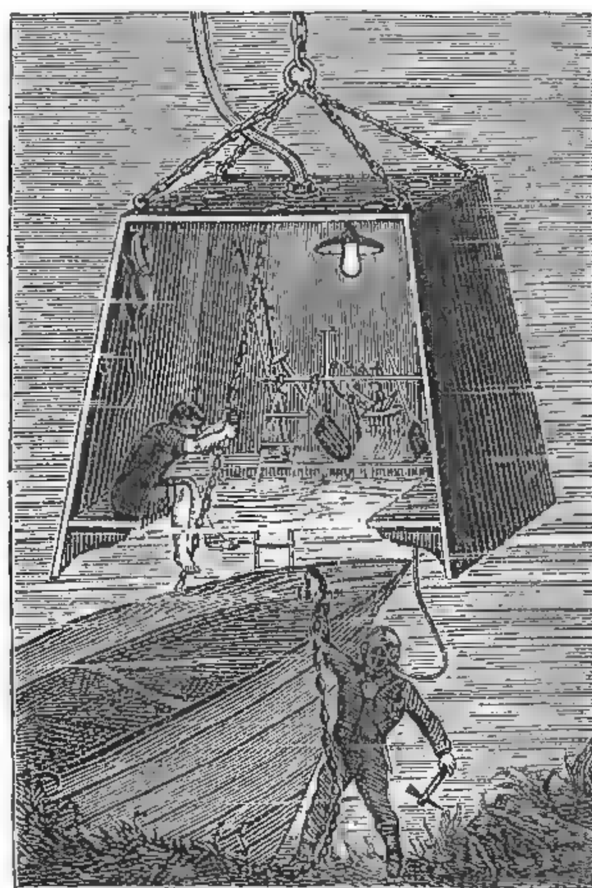


Fig. 244.



2. Die **Taucherglocken**, welche bei Arbeiten unter Wasser benutzt werden, haben die Gestalt einer abgestumpften vierseitigen Pyramide, welche unten 3 m lang und nicht ganz so breit ist (Fig. 244); sie sind aus Eisen, unten offen, und im Innern mit Bänken versehen. Licht erhalten die Taucher durch dicke Fenster in der Decke. Die ganze Vorrichtung hängt an einer starken Kette und läfst sich von einem Schiffe aus hinabsenken und emporziehen. Durch eine Verdichtungspumpe (§ 119) pumpen Arbeiter zur Lufterneuerung Luft in einen Schlauch, der von der Taucherglocke bis über die Wasseroberfläche führt; diese Luft kann wegen eines am unteren Schlauchende befindlichen Ventils aus der Glocke nicht in den Schlauch zurückkehren. Durch das Pumpen wird die Luft in der Glocke verdichtet, und ihre Spannkraft wird so grofs, dafs sie alles Wasser aus der Glocke verdrängt. Die Undurchdringlichkeit und Spannkraft verdichteter Luft erhalten die Glocke frei von Wasser. Elektrisches Licht gibt auch in gröfseren Tiefen Helligkeit.

3. **Die Skaphander oder Taucheranzüge** (Fig. 244) reichen auch ohne Taucherglocke für kleinere Arbeiten unter Wasser aus. Ein kupferner Taucherhelm mit starken

Glasfenstern umschliefst den Kopf des Tauchers, eine wasserdichte Taucherkleidung und der Lufttornister schliefsen sich an. Die Atemluft gelangt aus einer Verdichtungspumpe von einem Schiff aus durch einen Schlauch in den Lufttornister und aus diesem ins Innere des Helms; Licht erhält der Taucher durch eine elektrische Glühlichtlampe, die er in die Tiefe mitnimmt.

§ 119. Die Verdichtungspumpe und die Windbüchse.

Um Luft zu verdichten, bedient man sich der **Verdichtungs- oder Kompressionspumpe** (Fig. 245). Ein metallener Stiefel mit genau anschliefsendem Kolben *a* hat oben eine Seitenöffnung *b*. An das untere Ende des Stiefels ist der Rezipient *C*, der Behälter, in welchem die Luft verdichtet werden soll, angeschraubt. Hier bei *d* ist ein Ventil angebracht, das sich nur nach innen öffnet. Wird der Kolben niedergedrückt, so wird Luft in den Rezipienten geprefst. Zieht man den Kolben wieder bis über die Öffnung *b* empor, so schliefst die verdichtete Luft im Rezipienten vermöge ihrer Spannkraft das Ventil und versperrt sich den Ausweg; durch die Seitenöffnung *b* strömt von aufsen wieder Luft ein und wird durch Niederdrücken des Kolbens immer von neuem in den Rezipienten geprefst. Die Verdichtungspumpe wird angewandt bei Taucherglocken und -anzügen, Windbüchsen, Aquarien, zur Bereitung von Selterwasser und zur Kondensation der Gase (§ 180, 3), ferner zum Betriebe von Rohrposten (§ 115, II), zu Bohrmaschinen und Bremsen an Eisenbahn- und elektrischen Strafsenbahnwagen, zur Füllung der Gummireifen der Fahrräder und Automobile mit verdichteter Luft.

Fig. 245.

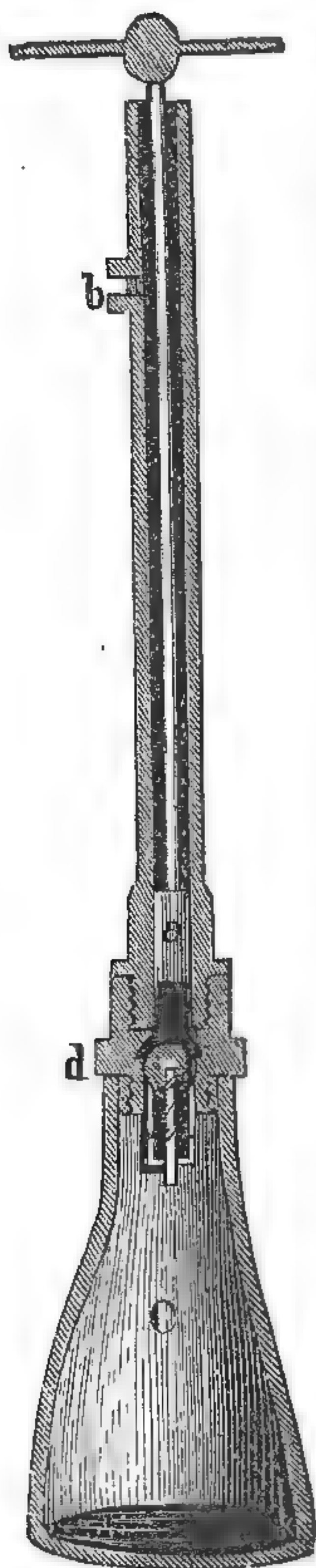


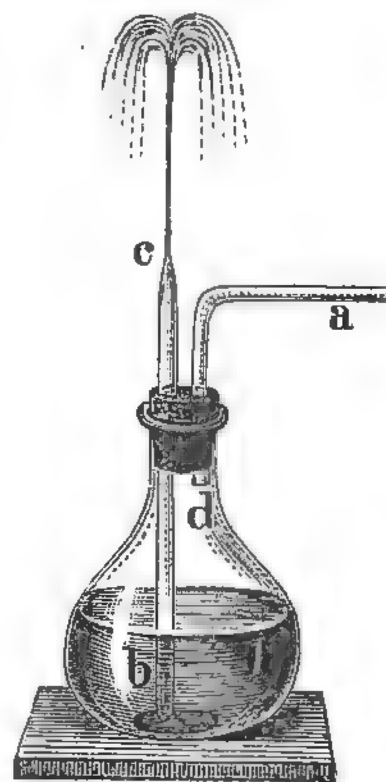
Fig. 246.



§ 120. Der Heronsball.

Der Heronsball ist eine Erfindung des griechischen Mechanikers Heron, der um das Jahr 120 vor Christo zu Alexandria gelebt hat. Eine Glasflasche (Fig. 246) ist bis zur Hälfte mit Wasser gefüllt, durch einen durchbohrten passenden Kork führt eine Röhre, die oben eine feine Öffnung hat, fast bis zum Boden des Gefäfses. Man bläst Luft in die Röhre; darauf springt aus derselben kurze Zeit ein Wasserstrahl empor. Wenn man in den Heronsball Luft hineingeblasen hat, ist in demselben die Luft verdichtet, und ihre Spannkraft vergröfsert. Sie drückt stärker auf das Wasser und nötigt einen Teil desselben, aus der Röhre emporzuspringen. Bequemer ist es, durch den Kork luftdicht eine zweite Röhre *ad* (Fig. 247), die unten nur wenig aus dem Kork herausragt, einzuführen und mit Hilfe dieser Röhre die Luft im Heronsball zu verdichten. Die wichtigste Anwendung des Heronsballes ist der Windkessel der Feuerspritze (§ 113, 3).

Fig. 247.



Dritte Abteilung.

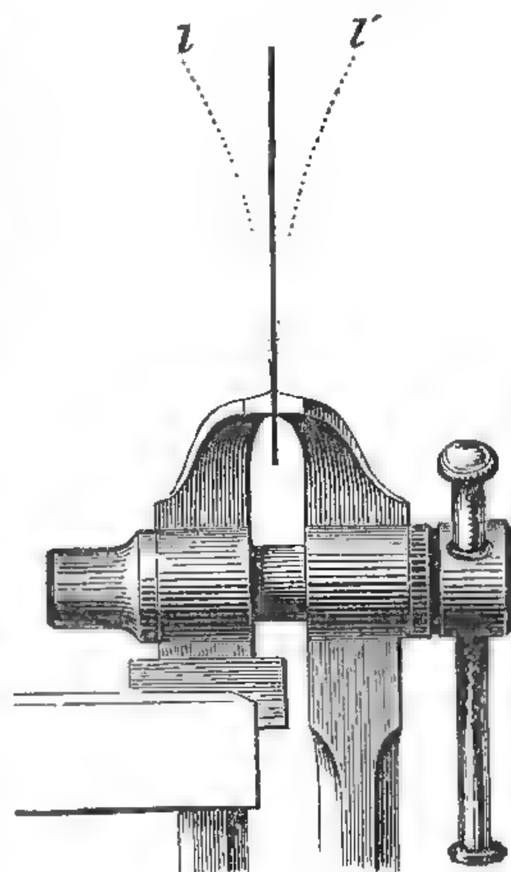
Erscheinungen des Schalles, des Lichtes und der Wärme.

I. Erscheinungen des Schalles.

§ 121. Die Entstehung des Schalles.

1. Wenn man die tiefste Saite einer Violine schwach mit dem Bogen streicht, so hört man einen Schall, womit alles Hörbare bezeichnet wird, und sieht, daſs ein über die Saite gesetztes Papierreiterchen sich schnell hin und her bewegt. Ein elastischer Draht (eine Stricknadel), dessen eines Ende fest eingeklemmt ist (Fig. 248), erregt, zur Seite gebogen und losgelassen, gleichfalls einen Schall, und man sieht schnelle schwingende Bewegungen des Drahtes. Hemmt man diese schwingende Bewegung, so daſs sie aufhört, so hört auch der Schall auf. Ein Schall entsteht auch, wenn man an eine Glasglocke schlägt; eine an einem Faden hängende Korkkugel wird dann bei Berührung vom äuſseren Glockenrand wiederholt nach auſsen, vom inneren Glockenrand nach innen gestoſsen; es bewegen sich also Teile der Glocke von innen nach auſsen und von auſsen nach innen. Schlägt man auf ein dünnes Brettchen, das auf zwei Stäbe gelegt und mit Sand bestreut ist, so beobachtet man bei jedem Schalle eine Erschütterung und zitternde Bewegung des Sandes. Die aus einer Knallbüchse austretende verdichtete Luft verursacht einen Knall, indem sie gegen die Luftmasse der Umgebung stöſst und dieselbe heftig erschüttert. **Der Schall entsteht durch die schnelle schwingende Bewegung oder Erschütterung eines Körpers.**

Fig. 248.



2. An einer tönenden Saite und an einem schwingenden Draht fangen alle Körperteilchen ihre Schwingungen gleichzeitig an und beenden sie gleichzeitig. Werden die Schwingungen der Teilchen eines Körpers gleichzeitig begonnen und beendet, so heiſsen sie **stehende Schwingungen** und bilden eine stehende Wellenbewegung. Durch stehende Schwingungen geschieht die Erregung des Schalles. An einem an einer Seite befestigten Seile dagegen, dessen anderes Ende man mit der Hand bewegt, läſst sich, entsprechend der Wellenbewegung des Wassers, die Wellenbewegung so gestalten, daſs die einzelnen Teilchen ihre Schwingungen nach einander beginnen, so daſs eine fortschreitende Wellenbewegung entsteht, bei welcher jedes folgende Teilchen seine Schwingungen später anfängt und später endigt als das vorhergehende. Durch eine fortschreitende Wellenbewegung geschieht die Verbreitung des Schalles.

§ 122. Die Verbreitung des Schalles.

1. Der Schall wird gewöhnlich durch die Luft bis zu unserem Gehörorgan geleitet, weil das Ohr und die schallenden Körper sich in der Luft befinden. Gleich den Wellen des Wassers, die sich um einen hineingeworfenen Stein bilden und sich nach allen Seiten verbreiten, entstehen durch die Bewegungen eines schallen-

den Körpers Wellenbewegungen in der Luft, Schallwellen, die nach allen Seiten fortschreiten. Indem ein elastischer Draht (Fig. 248) oder die Wandung einer Glocke (Fig. 249) schnell nach einer Seite schwingt, werden die nächsten Luftteilchen weiter getrieben, so dafs bei *a* eine Verdichtung der Luft entsteht. Wegen ihrer Spannkraft dehnt die verdichtete Luft sich aus, stöfst gegen die folgenden Luftteilchen und verdichtet sie bei *b*. Diese stofsen gegen die dann folgenden, und so schreitet die Verdichtung immer weiter fort, nach *c*, *d* usf. Die verdichteten Luftteilchen schwingen infolge ihrer Spannkraft aber wieder zurück, beharren in ihrer Bewegung und erzeugen, wo erst die Verdichtung war, schliefslich eine Luftverdünnung. In diese dringen sogleich Luftteilchen der fortgeschrittenen, benachbarten Verdichtung, so dafs nun gewöhnliche Dichtigkeit entsteht. Die eingedrungenen Luftteilchen lassen aber hinter sich eine Verdünnung der Luft, und in diese dringen, wieder eine Verdünnung hinter sich lassend, die folgenden Luftteilchen ein. So schreitet auch die Verdünnung fort. Eine solche Verdichtung der Luft samt der darauf folgenden Verdünnung bildet eine Schallwelle. Eine Schwingung des schallerregenden Körpers erregt eine Welle, schwingt der Körper weiter, so folgt Welle auf Welle. Solche Wellen, bei denen die einzelnen Teilchen in der Richtung der Fortpflanzung der Welle hin und her schwingen, heifsen **Längswellen oder Longitudinalwellen. Die Verbreitung des Schalles in der Luft geschieht daher durch Schallwellen,** das sind longitudinale Wellen, welche aus abwechselnden Verdichtungen und Verdünnungen der Luft bestehen und nach allen Richtungen hin fortschreiten.

Fig. 249.

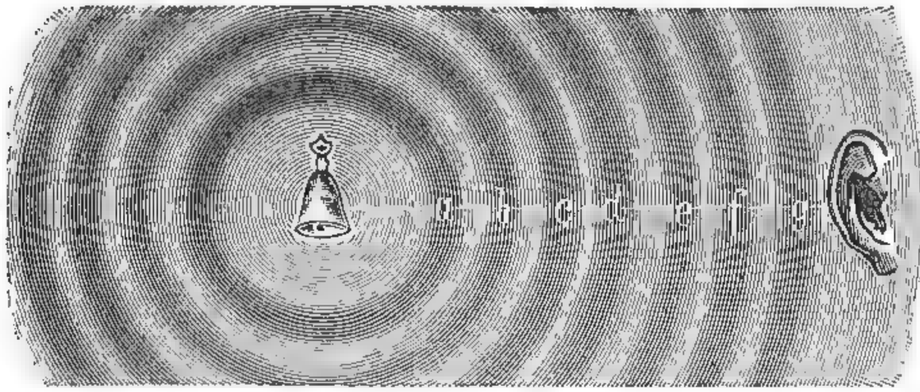
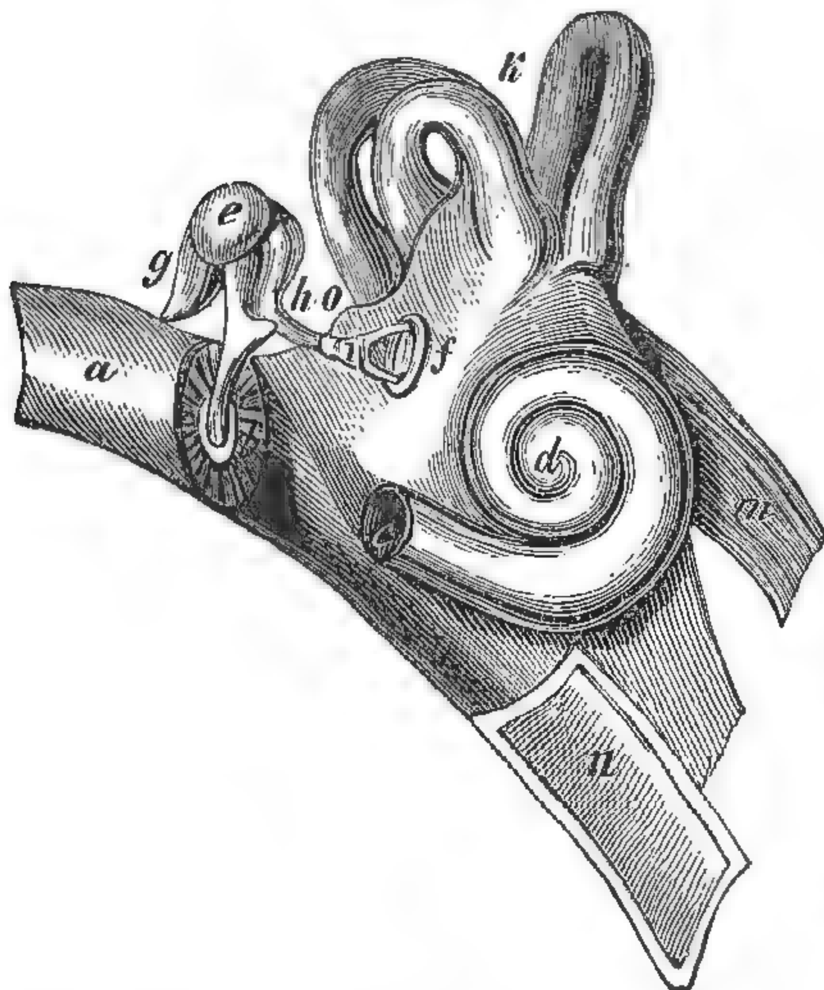


Fig. 250.



2. Die Schallwellen gelangen bis zu unserem **Gehörorgan,** werden von der Ohrmuschel aufgefangen, dringen durch den Gehörgang *a* (Fig. 250) an das Trommelfell *b* und bewegen dasselbe; die Bewegung wird durch die vier Gehörknöchelchen, Hammer *e*, Ambofs *h*, Linse und Steigbügel *i*, weitergeleitet und auf eine feine Membran übertragen, welche eine Öffnung des inneren Ohres, das ovale Fenster, verschliefst. Das mit dem Gehörwasser gefüllte innere Ohr oder Labyrinth besteht aus Vorhof (bei *f*), drei Bogengängen *k* und Schnecke *d*. Die Fasern des Spiralblattes in der Schnecke, die mit dem Gehörnerven zusammenhängen, sind auf die verschiedenen Töne abgestimmt und werden bei deren Erklingen in schwingende Bewegung gesetzt.

3. Je dichter **die Luft** ist, desto besser leitet sie den Schall. Daher die lautlose Stille in der dünnen Atmosphäre auf hohen Alpengipfeln und der schwache Klang einer Glocke unter dem Rezipienten der Luftpumpe. Im **Wasser** wird der Schall weitergeleitet; das Zusammenschlagen von Steinen unter Wasser wird in und aufser demselben vernommen, und Taucher hören den Knall einer in der

Luft abgeschossenen Pistole. **Feste Körper** leiten den Schall noch besser, wenn sie elastisch genug sind. Den Hufschlag der Pferde vernimmt man in weiter Entfernung, wenn man das Ohr auf die Erde legt; in Bergwerken hören die Arbeiter die Schläge ihrer Genossen; den Ton eines gegen den Tisch bewegten silbernen Löffels vernimmt man bei zugehaltenen Ohren, wenn man den Faden, an dem er hängt, zwischen die Zähne nimmt. Lockere Körper, zwischen deren Teilen sich Luftschichten befinden, Tuch, Pelz, Wolle, Baumwolle, Federn, Sägespäne, sind zur Leitung des Schalles am wenigsten geeignet und schwächen ihn bedeutend. **Der Schall wird sowohl durch luftförmige als auch durch flüssige und feste Körper geleitet, und zwar am besten durch elastische und durchweg gleichartige feste Körper.**

§ 123. Die Geschwindigkeit des Schalles.

Die Geschwindigkeit des Schalles in der Luft fanden durch Versuche 1822 Humboldt und Arago. Man feuerte nachts auf einem Berge bei Montlhéry bei Paris aller 5 Minuten eine Kanone ab, beobachtete auf einem anderen, 18613 m entfernten Berge durch ein Fernrohr das Aufblitzen des Schusses und stellte an einer guten Uhr fest, dafs durchschnittlich 54,6 Sekunden vergingen, bis man den Knall hörte. In den zwischen den Wahrnehmungen von Blitz und Knall verflossenen 54,6 Sekunden hatte der Schall 18613 m, also in 1 Sekunde 18613 m : 54,6 = 341 m zurückgelegt. Die Luft hatte 16° Wärme. Für jeden Grad weniger ist die Geschwindigkeit 0,62 m kleiner, für 16° weniger ist sie also 0,62 m × 16 = 9,92 m, rund 10 m kleiner, beträgt daher 331 m. Es gilt der **Satz:**

Der Schall legt in der Luft bei null Grad Wärme in einer Sekunde 331 m zurück; oder **die Geschwindigkeit des Schalles beträgt 331 m** in der Luft bei null Grad Wärme.

Da ein von einer Musikkapelle gespieltes Stück uns auch in gröfserer Entfernung noch unverändert gut, nur schwächer zu Gehör kommt, so müssen wir schliefsen, dafs sich die nach Stärke und Höhe verschiedenen Töne mit gleicher Geschwindigkeit fortpflanzen. **Die Geschwindigkeit der Schallfortpflanzung ist** daher **unabhängig von der Art des Schalles.**

Da bei gröfserer Wärme die Geschwindigkeit für jeden Centigrad um 62 cm gröfser wird, so beträgt sie bei +15 Grad ungefähr 340 m. In Wasser ist die Schallgeschwindigkeit über viermal so grofs als in der Luft, sie beträgt 1435 m, in festen Körpern 4—5000 m.

§ 124. Die Zurückwerfung des Schalles.

Ein elastischer Ball wird von einer Wand, und Wasserwellen werden vom Ufer zurückgeworfen. In ähnlicher Weise lehren die Beobachtungen: Wenn ein Schall eine Wand trifft, so wird er von derselben zurückgeworfen. Es gilt als Gesetz der Zurückwerfung: **Der Winkel, den die Richtung des zurückgeworfenen Schalles mit der zurückwerfenden Fläche bildet, ist gleich dem Winkel, den die Richtung des ursprünglichen Schalles mit der zurückwerfenden Fläche einschliefst.** Wenn der Schall eine Fläche **rechtwinklig** trifft, so wird er nach dem Ort seiner Entstehung zurückgeworfen.

Durch die Zurückwerfung des Schalles entstehen die Verstärkung des Schalles, der Nachhall und das Echo. Eine **Verstärkung** des Schalles entsteht im Zimmer durch die Zurückwerfung von den nahen Wänden, so dafs unser Ohr die zurückgeworfenen Wellen von den ursprünglichen wegen der Kürze der dazwischenliegenden Zeit nicht mehr zu trennen vermag. In Sälen und Kirchen kommen die Schallwellen etwas später zurück und werden verspätet, aber während der ursprüngliche Laut noch klingt, gehört, und es entsteht der **Nachhall.**

Ein **Echo** entsteht, wenn der zurückkehrende Laut deutlich vom ausgesendeten zu unterscheiden ist. Unser Ohr vermag nur neun Laute in einer Sekunde ge-

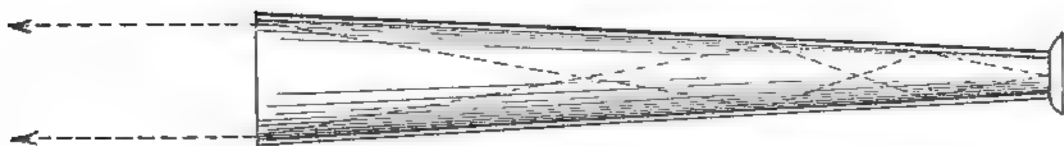
trennt wahrzunehmen, für einen Laut ist also $^1/_9$ Sekunde erforderlich. Soll ein ausgestoſsener Laut als Echo gehört werden, so muſs bis zu seiner Rückkunft mindestens $^1/_9$ Sekunde verflieſsen. In $^1/_9$ Sekunde legt der Schall aber bei 15° C. 340 m : 9 = 37,8 m, ungefähr 38 m zurück. Soll daher für Hin- und Rückweg eines einsilbigen Schalles die Zeit $^1/_9$ Sekunde betragen, so muſs die zurückwerfende Wand 38 m : 2 = 19 m entfernt sein. Bei 2 × 19 m, 3 × 19 m Entfernung gibt es zweisilbige und dreisilbige Echos. Wegen Zurückwerfung an mehreren Wänden vernimmt man ein einsilbiges Echo 9 mal auf dem Königsplatz zu Kassel, 17 mal am Loreleifelsen am Rhein, 40 mal beim Schlosse Simonetta bei Mailand; bei Adersbach in Böhmen ist ein 7 silbiges, 3 maliges Echo.

§ 125. Auf der Zurückwerfung des Schalles beruhende Vorrichtungen.

Auf der Zurückwerfung des Schalles beruhen:

1. **Das Schallrohr oder Kommunikationsrohr**; es ist eine blecherne Röhre von 2,5 cm Durchmesser, welche den Mastkorb eines Schiffes mit einer Kajüte, die Kommandobrücke mit dem Maschinenraum, oder ein Stockwerk eines Gebäudes mit einem anderen verbindet. Die Schallwellen werden durch Zurückwerfung gehindert, sich auszubreiten, so daſs die an einem Ende gesprochenen Worte am anderen Ende deutlich gehört werden.

Fig. 251.



2. **Das Sprachrohr** (Fig. 251); das ist eine kegelförmige, 1 bis 2 m lange Röhre aus Blech oder Pappe, in deren enges Mundstück hineingesprochen wird. Die durch lautes Sprechen hervorgebrachten Schallschwingungen im Sprachrohr werden durch die Wände des Rohres an seitlicher Ausbreitung gehindert und so reflektiert, daſs sie fast alle das Schallrohr in der Längsrichtung des Rohres verlassen. Deshalb werden die Schwingungen so kräftig, daſs sie fast zwei Kilometer weit, von Schiff zu Schiff, deutlich vernommen werden.

3. **Das Hörrohr** besteht aus einem Schalltrichter und einer daran befestigten kurzen, enger werdenden Röhre, die der Schwerhörige in sein Ohr schiebt. Die Schallwellen werden in dem Rohr zusammengedrängt und dadurch verstärkt.

§ 126. Das Geräusch und der Ton.

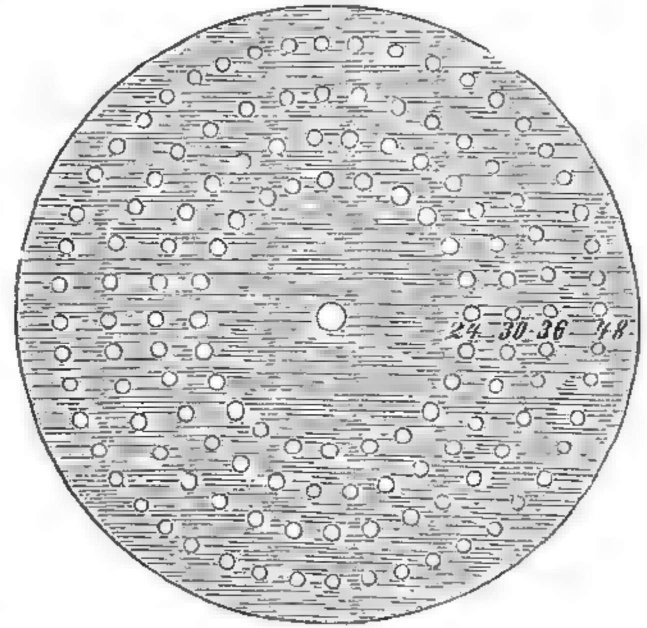
1. Wenn mehrere schallerregende Schwingungen langsam aufeinanderfolgen, so vernimmt das Ohr eine Reihe einzelner Schalle. Folgen dieselben aber sehr schnell aufeinander, so sind wir auſser stande, die einzelnen Schalle zu unterscheiden; sie flieſsen für unser Gehör ineinander und bilden einen zusammengesetzten Schall. Ein **zusammengesetzter Schall** besteht aus einer Anzahl von schnell aufeinanderfolgenden Schallen.

2. Zahlreich fallende Regentropfen erregen einen zusammengesetzten Schall, in welchem die einzelnen Schwingungen weder von gleicher Beschaffenheit sind noch in gleichen Zeiträumen erfolgen; sie bewirken einen unregelmäſsig zusammengesetzten Schall. **Ein unregelmäſsig zusammengesetzter Schall heiſst ein Geräusch.** Je nach der Verschiedenheit der Geräusche hat die Sprache besondere Bezeichnungen ausgeprägt; man spricht von dem Rollen des Donners, dem Plätschern der Quelle, dem Rauschen der Blätter, dem Brausen des Windes, dem Rasseln der Wagen und dem Knarren der Räder usf.

3. **Ein regelmäſsig zusammengesetzter Schall heiſst ein Ton.** Ein Ton ist eine Reihe von einander gleichen Schallen, die in gleichen Zwischenräumen schnell

aufeinanderfolgen. Die Entstehung eines Tones zeigt am deutlichsten **die Sirene** (Fig. 252), das ist eine runde Metall- oder Pappscheibe, welche sich auf die Schwungmaschine (Fig. 140, S. 89) schrauben läſst und gewöhnlich mit vier konzentrischen Kreisen versehen ist, auf denen sich in gleichen Abständen kreisrunde Löcher befinden. Gegen eine der Lochreihen wird, während man die Scheibe gleichmäſsig schnell dreht, von oben her aus einer kleinen Röhre mit dem Munde oder einem Blasebalg Luft geblasen. Jedesmal, wenn sich eine Öffnung unter der Röhre befindet, trifft der durch das Blasen verursachte Luftstrom die unterhalb der Scheibe befindliche Luft und übt einen Stoſs gegen dieselbe aus. Soviel Öffnungen daher unter der Röhre weggehen, so viel Luftstöſse treten ein, und so viel Schwingungen entstehen. Bei hinreichend schneller Bewegung vernimmt man einen Ton. In ähnlicher Weise erhält man einen Ton, wenn man ein **metallenes Zahnrad** (Savartsche Zahnradsirene) schnell und gleichmäſsig umdreht und gegen die Zähne das eine Ende eines elastischen Plättchens hält. Die Zahl der Schwingungen des Plättchens ist so groſs wie die Zahl der Zähne, welche das Plättchen berührt haben.

Fig. 252.



§ 127. Tonhöhe und Tonleiter. Wellenlänge.

1. Bei schnellerer Umdrehung der Sirene nimmt die Zahl der Schwingungen und die Höhe des Tones zu, ebenso wenn, bei gleichbleibender Umdrehungsgeschwindigkeit, der Luftstrom erst auf die innerste, dann auf die zweite, dritte und äuſserste Lochreihe gerichtet wird. **Die Zahl der Schwingungen in einer Sekunde heiſst die Schwingungszahl.** Die gleiche Schwingungszahl gibt auf jedem Instrument denselben Ton. **Ein Ton ist desto höher, je gröſser seine Schwingungszahl ist.**

Zur Bestimmung der Schwingungszahl eines jeden Tones bedient man sich der Lochsirene von Cagniard de Latour (Fig. 253 u. 254). Ein starker Luftstrom tritt von unten in die Windlade ein. Aus dieser Windlade tritt die Luft in die mit schiefer Bohrung versehenen Löcher des oberen Bodens der Windlade und setzt die dicht über diesem Boden befindliche Sirenenscheibe, welche mit schiefen Bohrungen in anderer Richtung versehen ist, in Umdrehung. Verschiedene Stärke des Luftstromes erzeugt verschiedene Umdrehungsgeschwindigkeit und daher verschiedene Tonhöhe. Bei unverändert gehaltener Tonhöhe bestimmt sich aus der Zahl der Löcher und der Zahl der Umdrehungen, welche sich an einem Zählwerk ablesen läſst, die Zahl der Schwingungen.

Fig. 253.

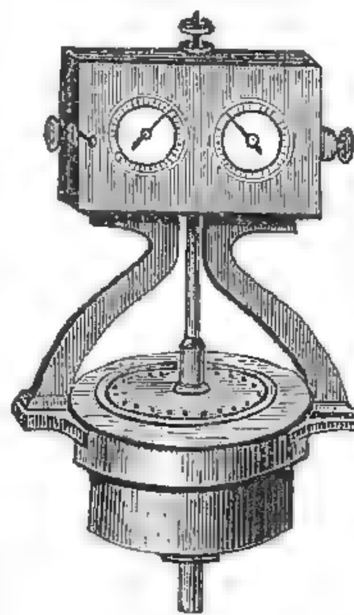
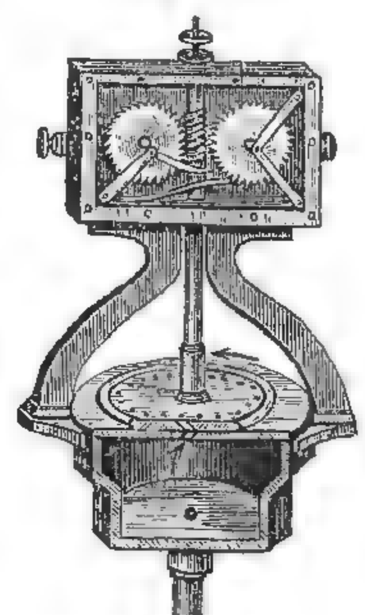


Fig. 254.

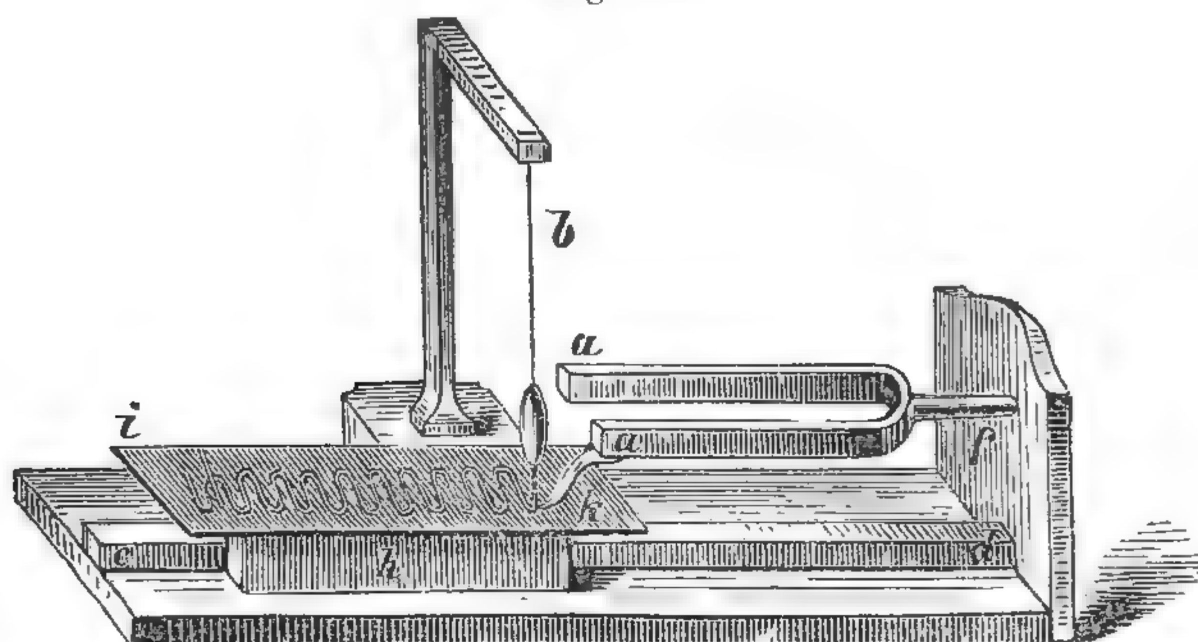


Zur Bestimmung der Schwingungszahl einer Stimmgabel kann man mit Wachs an der einen Zinke *u* (Fig. 255) ein Schreibfederchen aus Papier befestigen und darunter eine mit Ruſs überzogene Glasscheibe so legen, daſs sie von der Schreibfeder leise berührt wird. Schiebt man nun, nachdem die Stimmgabel angeschlagen ist, die Glasscheibe in der Richtung der Zinken (nach *c* hin) vorwärts, so zeichnet die Schreibfeder jede Schwingung der Stimmgabel in den Ruſs, und es ist nachher leicht, sie zu zählen.

2. Setzt man eine Sirenenscheibe mit vier Lochreihen (Fig. 252), die von innen nach auſsen gezählt 24, 30, 36, 48 Löcher enthalten, rasch in gleichförmige Umdrehung und bläst einen Luftstrom, von innen nach auſsen fortschreitend,

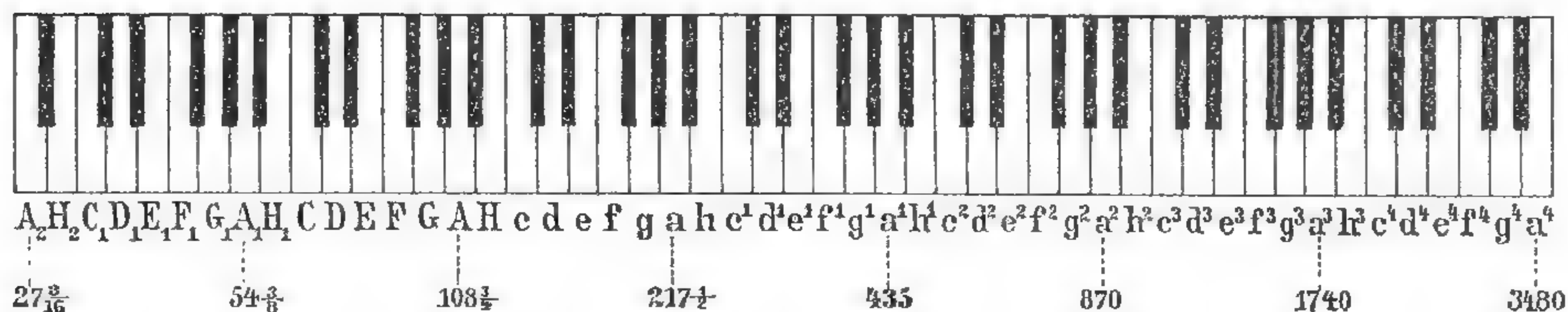
nacheinander auf diese vier Lochreihen, so hört man vier verschiedene Töne. Bezeichnet man den Ton der innersten Reihe als Grundton (Tonika), so sind die drei anderen Töne der Reihe nach zu diesem Grundton die grofse Terz, die Quinte und die Oktave, also die Töne des Durdreiklanges mit der Oktave des Grundtons. Da während einer Scheibenumdrehung der Grundton 24, die grofse Terz 30, die Quinte 36, die Oktave 48 Schwingungen macht, so verhalten sich die Schwingungszahlen des Grundtons, der grofsen Terz, der Quinte, der Oktave zueinander wie 24:30:36:48 oder wie $1:{}^5/_4:{}^3/_2:2$. Auf die Zeit einer Schwingung des Grundtons kommen $^5/_4$ der grofsen Terz, $^3/_2$ der Quinte, 2 der Oktave. **Die Oktave irgendeines Tones hat die doppelte Schwingungszahl dieses Tones.**

Fig. 255.



Der tiefste Ton der Musik, das Subkontra-C (C_2), das eine Oktave tiefer liegt, als das tiefste C (C_1) des Pianinos, macht (in reiner Stimmung) in der Sekunde $16^5/_{16}$ Schwingungen. Der höchste Ton, der zur Anwendung kommt, das fünfmal gestrichene d (d^5), macht 4700 (genauer 4698) Schwingungen. Das eingestrichene a (a^1), der sogenannte **Kammerton**, den die gewöhnlichen Stimmgabeln angeben, hat (nach der Wiener Stimmtonkonferenz, 1885) die Schwingungszahl **435**; das zweigestrichene (a^2) hat $2 \times 435 = 870$, das dreigestrichene (a^3) $2 \times 870 = 1740$, das viergestrichene (a^4) (höchster Ton des Klaviers) $2 \times 1740 = 3480$; a hat $435 : 2 = 217^1/_2$, A $217^1/_2 : 2 = 108^3/_4$, A_1 $108^3/_4 : 2 = 54^3/_8$, A_2 (tiefster Ton des Klaviers) $54^3/_8 : 2 = 27^3/_{16}$ (Fig. 256).

Fig. 256.

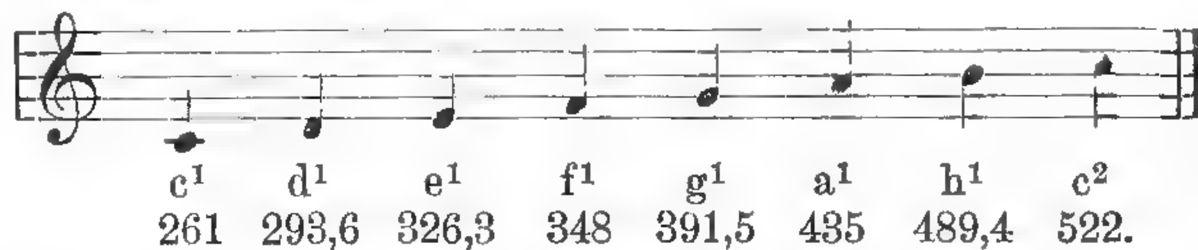


Für die Töne einer diatonischen Tonleiter mit dem Grundton C gelten folgende relative Schwingungszahlen:

	Grundton.	Sekunde.	Terz.	Quarte.	Quinte.	Sexte.	Septime.	Oktave.
	C	D	E	F	G	A	H	c
	1	$^9/_8$	$^5/_4$	$^4/_3$	$^3/_2$	$^5/_3$	$^{15}/_8$	2
Intervalle:	$^9/_8$	$^{10}/_9$	$^{16}/_{15}$	$^9/_8$	$^{10}/_9$	$^9/_8$	$^{16}/_{15}$	

Während C eine Schwingung ausführt, macht D $^9/_8$, E $^5/_4$ und F $^4/_3$ oder die Schwingungszahl von C verhält sich zur Schwingungszahl von D wie 1 zu $^9/_8$. Das Verhältnis der Schwingungszahlen zweier Töne heifst ihr Intervall. Das Intervall eines Tones und seiner Sexte ist: 1 zu $^5/_3$. Macht die Sexte eine Schwingung, so vollführt der Grundton $1 : {}^5/_3 = {}^3/_5$ Schwingungen; hat a^1 435, so macht c^1 $435 \times {}^3/_5 = 261$ Schwingungen. d^1 entsteht durch $261 \times {}^9/_8 = 293^5/_8$, e^1 durch

$261 \times {}^5/_4 = 326^1/_4$ Schwingungen, so dafs sich die wirklichen Schwingungszahlen aller Töne berechnen lassen:



Bildet man die Intervalle zweier aufeinanderfolgender Töne als Verhältnis der gröfseren Schwingungszahl zur kleineren, so erhält man nur drei Arten von Intervallen: ${}^9/_8$, ${}^{10}/_9$, ${}^{16}/_{15}$. Zwei Töne mit dem Intervall ${}^9/_8 = 1^1/_8$ sind um einen grofsen ganzen Ton voneinander entfernt, beim Intervall ${}^{10}/_9 = 1^1/_9$ spricht man vom kleinen ganzen Ton. Das Intervall ${}^{16}/_{15} = 1^1/_{15}$ heifst ein halber Ton.

Wenn die Töne genau die angegebenen Verhältnisse und Schwingungszahlen haben, so heifst die Stimmung die **natürlich reine Stimmung** und zeichnet sich durch besonderen Wohlklang aus. Wollte man aber einem Instrument mit festen Tönen, dem Pianino oder der Orgel, diese Stimmung geben, so müfsten solche Instrumente überaus viele Töne haben, damit jeder Ton als Grundton genommen werden kann, und die Intervalle doch genau richtig sind. Man hat sich aber damit begnügen müssen, 5 Töne, zu welchen auf dem Pianino schwarze Tasten gehören, in die Tonleiter einzuschalten (Fig. 256). Dadurch hat man eine Tonleiter mit 12 Tönen erhalten, welche **die chromatische Tonleiter** genannt wird. Aber auch dann sind kleine Abweichungen von der reinen Stimmung erforderlich. c^1 macht 261 Schwingungen; e^1 ist die Terz von c^1 und soll ${}^5/_4$mal so viel Schwingungen ausführen. Die Terz von e^1 ist gis^1 mit ${}^5/_4$mal so viel Schwingungen, und die Terz von gis^1 ist c^2 wieder mit ${}^5/_4$mal so viel Schwingungen. c^2 müfste daher ${}^5/_4 \times {}^5/_4 \times {}^5/_4 \times 261 = 509^{49}/_{64}$ Schwingungen haben, während es als Oktave von c^1 522 zur Schwingungszahl hat. Entweder müssen daher die Oktaven unrein werden oder die anderen Intervalle. In den Oktaven erträgt aber das Ohr keine Unreinheit; deshalb müssen bei den anderen Intervallen kleine Abweichungen von der reinen Stimmung stattfinden. Diese Änderung der Töne behufs Reinhaltung der Oktaven heifst die akustische Temperatur. Werden die Abweichungen auf alle Töne gleichmäfsig verteilt, so erhält man **die gleichschwebende Temperatur**, bei welcher sämtliche Oktaven rein gehalten werden. Die Stimmung nach dieser Temperatur, bei welcher alle Intervalle zwischen den einzelnen aufeinderfolgenden Tönen gleich grofs sind, ist fast allgemein eingeführt und wird als gleichschwebend temperierte Stimmung bezeichnet.

3. Da sich ein Ton in einer Sekunde um so viel Wellenlängen fortpflanzt, als die Schwingungszahl angibt (denn jede Schwingung erregt eine Welle), die Fortpflanzung in einer Sekunde aber für alle Töne 340 m (15° C) beträgt, so erhält man die Wellenlänge eines Tones, wenn man mit der Schwingungszahl des Tones in die Fortpflanzungsgeschwindigkeit 340 m dividiert.

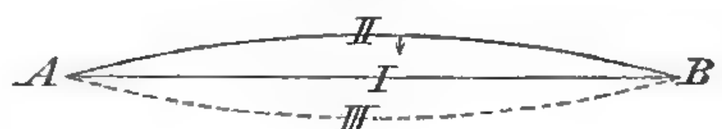
Für a^1 von 435 Schwingungen ist die Wellenlänge $= \frac{340}{435}$ m $= 0{,}782$ m $= 782$ mm.

Der tiefste hörbare Ton entsteht durch 14, der höchste hörbare Ton durch 40000 Schwingungen in der Sekunde. Die Länge der Schallwellen in der Luft beträgt daher für den tiefsten Ton ungefähr 24 m, für den höchsten 8,5 mm.

§ 128. Die Saiteninstrumente.

1. **Schwingungen der ganzen Saite.** Wird eine gespannte Saite angeschlagen, so biegt sie sich und schwingt vermöge ihrer Elastizität so hin und her, dafs die einzelnen Teile der Saite ihre Schwingungen an demselben Orte, quer oder transversal zur Ruhelage ausführen. **Eine angeschlagene tönende Saite führt** daher **stehende Quer- oder Transversalschwingungen aus.** Unter einer Schwingung versteht man den Hin- und Hergang der Saite aus einer gekrümmten Lage in die gleiche Lage. In die gekrümmte Lage *II* (Fig. 257) gebracht, zieht sich die Saite zusammen, kehrt mit zunehmender Geschwindigkeit in die Ruhelage *I* zurück, überschreitet dieselbe nach dem Beharrungsgesetz und gelangt mit abnehmender Geschwindigkeit in die gekrümmte Lage *III*; von da kehrt sie zurück

Fig. 257.



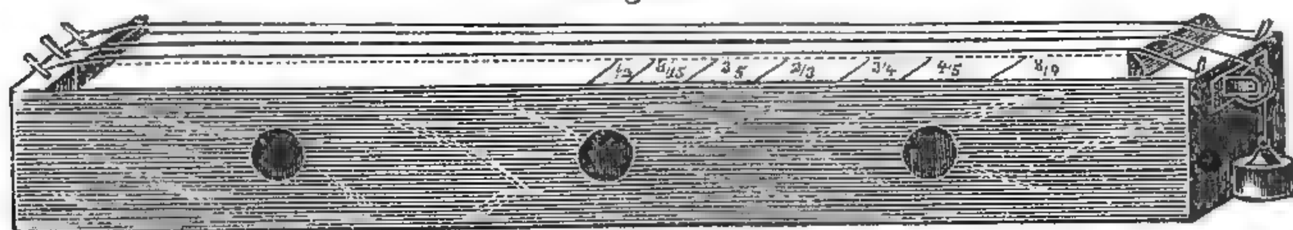
und schwingt ebenso regelmäſsig weiter. Wegen der Bewegungshindernisse werden die Schwingungen immer kleiner; die Tonhöhe bleibt dieselbe. Daher hat sich die Schwingungszahl nicht geändert. Also braucht die Saite zu den kleinen Schwingungen die gleiche Zeit, die sie zu den groſsen Schwingungen braucht; die Schwingungen sind **isochron.**

2. **Verstärkung des Tones durch die Resonanz.** Weil die Töne einer Saite schwach sind, bedürfen sie einer Verstärkung.

Eine Saite, welche über hölzerne Stege gespannt, einer Holzplatte nahe ist, tönt stärker, als wenn sie frei mit den Händen gehalten wird, weil die Fasern des Holzes mitschwingen und eine gröſsere Luftmenge in Bewegung setzen. Auf dem Tische tickt eine Taschenuhr lauter; ebenso ertönt eine angeschlagene, auf Holz gestemmte Stimmgabel lauter. Das Mitschwingen eines Körpers, durch welches der Ton verstärkt wird, heiſst die **Resonanz.** Darauf beruht die Anwendung des aus trocknem, elastischem und gleichfaserigem Holze gearbeiteten Resonanzbodens, dessen Schwingungen man sichtbar machen kann, indem man auf denselben beim Spielen des Instrumentes ein von drei Borsten getragenes Korkstückchen stellt.

3. **Tonhöhe einer Saite.** Zur Ableitung der Sätze dient das **Monochord**, ein mit Saiten bespannter Kasten aus Tannenholz (Fig. 258), oder eine Violine. a. Eine gestrichene Saite gibt ihren Grundton, mittels eines Steges auf $^4/_5$ ihrer Länge verkürzt, die groſse Terz; bei Verkürzung auf $^2/_3$ hört man die Quinte, auf $^1/_2$ die Oktave des Grundtons. Wenn aber die Schwingungszahl des Grundtons 1 ist, ist die der groſsen Terz $^5/_4$, die der Quinte $^3/_2$, die der Oktave 2.

Fig. 258.



Daher gilt der Satz: **Die Schwingungszahlen einer tönenden Saite verhalten sich,** bei unveränderter Spannung, **umgekehrt wie die Saitenlängen.** b. Von zwei gleich langen und gleich stark gespannten Saiten aus demselben Stoffe gibt die dünnere den höheren Ton, bei halber Dicke die Oktave u. s. f. **Die Schwingungszahlen von Saiten verschiedener Dicke verhalten sich umgekehrt wie ihre Durchmesser,** bei gleicher Länge, gleicher Spannung und gleichem Stoffe. c. Gibt eine durch Gewichte gespannte Saite ihren Grundton, so gibt sie bei 4facher Spannung die Oktave, hat also doppelte Schwingungszahl, bei 9facher Spannung ist die dreifache Schwingungszahl vorhanden, man hört die Quinte der Oktave. **Die Schwingungszahlen einer Saite verhalten sich** (bei gleicher Länge) **zu einander wie die Quadratwurzeln aus der Spannung.**

4. **Schwingungen der sich teilenden Saite.** Unterstützt man eine Saite des Monochords mit einem Steg an dem Endpunkt ihres ersten Drittels, und versetzt man durch Streichen mit einem Violinbogen dies Drittel in Schwingungen, so teilt sich, wie übergehängte Papierstückchen anzeigen, die Saite in drei gleiche Teile und gibt den Ton, den eine Saite von dem dritten Teil der Länge haben muſs. **Eine Saite kann daher auch schwingen, indem sie sich in eine Anzahl gleicher Teile teilt** (Fig. 259a). Diese Schwingungsweise läſst sich mittels einer dünnen Saite sichtbar darstellen, deren eines Ende an eine Zinke einer Stimmgabel gebunden ist (Fig. 259b). Die Punkte der Saite, welche fest bleiben, heiſsen **Schwingungsknoten;** einen in der Mitte zwischen zwei Knoten gelegenen Punkt, welcher die gröſsten Schwingungen ausführt, nennt man **Schwingungsbauch.**

Berührt man eine Saite des Monochords, welche man durch Anschlagen (nicht

in der Mitte) zum Tönen gebracht hat, mittels eines feinen Pinsels in der Mitte, so verstummt der Grundton, weil die Saite nicht mehr als Ganzes schwingt, wohl aber schwingt sie noch in Teilen, daher hört man noch höhere Töne, sogenannte harmonische Obertöne des Grundtons, deren Schwingungszahlen aufeinanderfolgende ganze Vielfache der Schwingungszahl des Grundtons sind. Ein geübtes Ohr hört diese Töne durch den Grundton hindurch, wenn die Saite als Ganzes

Fig. 259a.

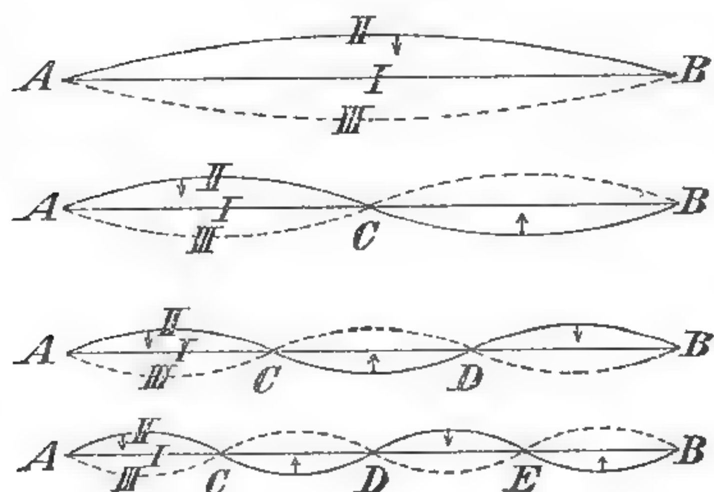
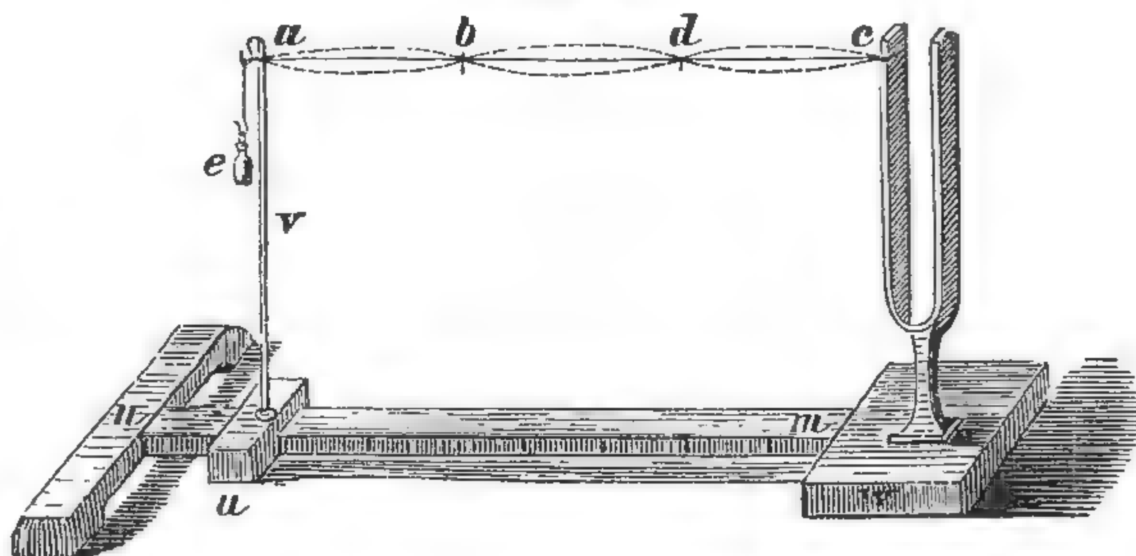


Fig. 259b.



schwingt. **Eine Saite, welche als Ganzes schwingt, führt zugleich Schwingungen aus, bei denen sie sich in eine Anzahl gleicher Teile teilt.** Die Töne der meisten musikalischen Instrumente sind nicht einfache Töne, sondern **Klänge oder Tongemische** und bestehen aus einem stärkeren Grundton und mehreren Obertönen; von der Höhe, Stärke und Zahl der Obertöne hängt die **Klangfarbe** des Instrumentes ab.

Sehr deutlich vernimmt man die Obertöne mittels der von Helmholtz erfundenen Resonatoren, in welchen die Luft mitschwingt und die schwachen Töne verstärkt. Ein Resonator (Fig. 260) ist eine gläserne oder metallene Hohlkugel mit zwei einander gegenüberliegenden offenen Ansätzen, von denen der engere in das Ohr gehalten wird. Jeder Resonator ist auf einen bestimmten Ton abgestimmt. Ist nun in einem Klang dieser Ton als schwacher Oberton enthalten, so hört man ihn verstärkt aus dem Tongemisch heraus. So viel Obertöne man nachweisen will, so viel Resonatoren sind nötig.

Fig. 260.



5. **Arten der Saiteninstrumente.** Die Saiteninstrumente werden in drei Klassen eingeteilt, je nachdem der Ton durch Streichen mit dem Bogen, durch Reifsen mit den Fingern oder durch Tastenanschlag hervorgebracht wird. Es machen aus:

I. die erste Klasse (Saiteninstrumente): Violine, Bratsche, Violoncell, Kontraviolon;

II. die zweite Klasse: Harfe, Guitarre, Lyra;

III. die dritte Klasse (Tasteninstrumente): Klaviere (Pianino und Flügel).

§ 129. Die Flächeninstrumente.

An den Flächeninstrumenten, Becken und Glocken, Trommeln und Pauken, sind Platten oder Membranen die tönenden Körper. **Platten** schwingen nicht als ein Ganzes, sondern teilen sich in mehrere schwingende Abteilungen. Wird ein mit Wasser gefülltes, glockenförmiges Weinglas oben am Rande mit einem Violinbogen gestrichen, so entstehen bei einem reinen Tone vier Abteilungen von Wellen. Mit Sand bestreute, in einem Punkte festgehaltene Glas- oder Metallscheiben (Fig. 261) zeigen beim Anstreichen die nach

ihrem Entdecker Chladni (geb. 1756, gest. 1827 in Breslau) benannten Chladnischen Klangfiguren, in denen der Sand sich auf die ruhenden Stellen zurückzieht.

Membranen schwingen an Trommeln und Pauken als ein Ganzes transversal und geben einen desto höheren Ton, je stärker sie gespannt sind. — Mäfsig gespannte und belastete Membranen und sehr dünne Platten werden durch die verschiedensten Töne in Schwingungen gesetzt und können die verschiedensten Töne geben.

Darauf beruht der 1877 von dem Amerikaner Edison erfundene **Phonograph** oder sprechende Lautschreiber, dessen ursprüngliche Einrichtung in Fig. 262 dargestellt ist. Die Hauptteile bilden die Schreibtrommel und die Schalltrichter. Die Schreibtrommel *A* ist ein Metallzylinder, der sich um eine wagerechte Achse drehen läfst; das eine Ende der Achse bildet eine sehr feine Schraubenspindel; dieselbe bewegt sich in einer befestigten Schraubenmutter, so dafs die Trommel beim Umdrehen zugleich eine fortschreitende Bewegung hat. Über die Trommel ist eine aus Wachs bereitete Röhre geschoben. Der eine Schalltrichter *B* hat am Boden eine sehr dünne Glasplatte, und ein an dieser befestigtes Stiftchen hält ein schräg liegendes, sehr

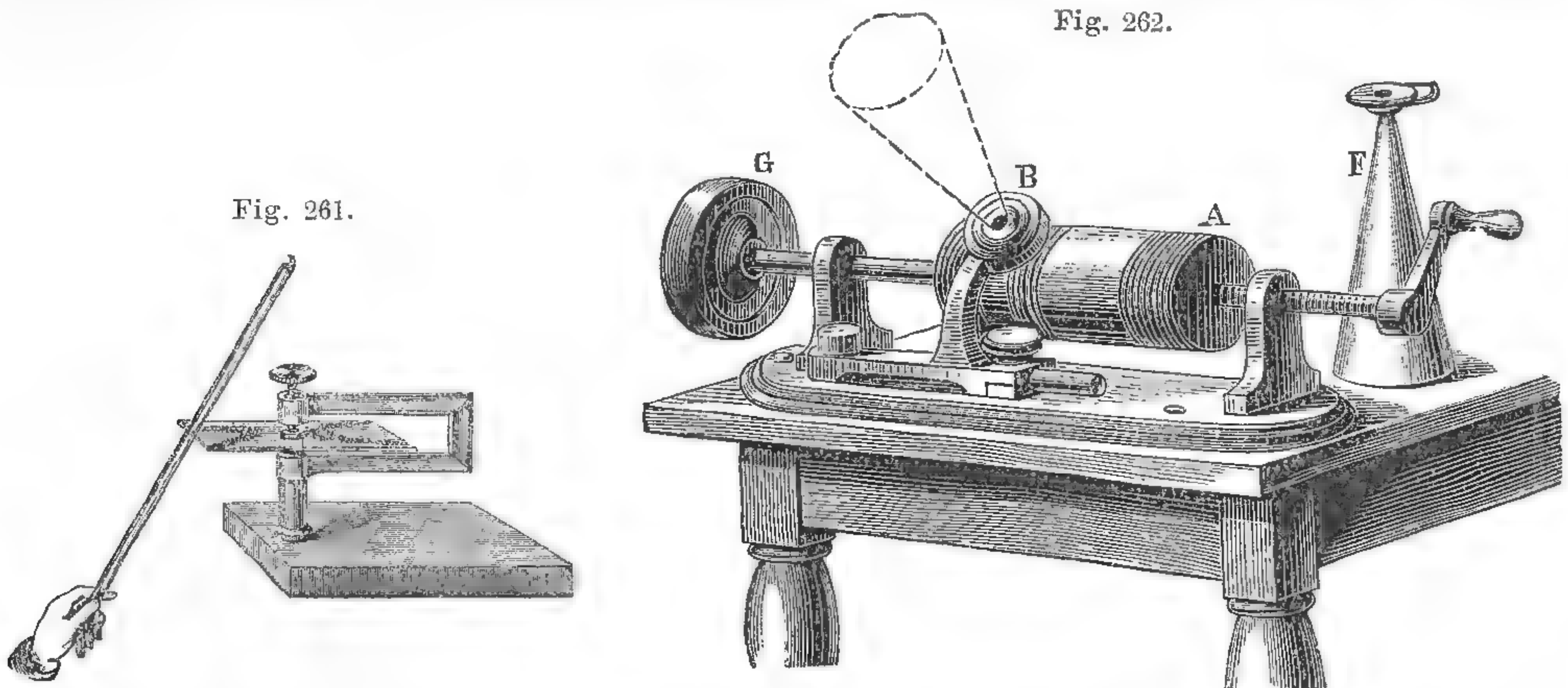


Fig. 261.

Fig. 262.

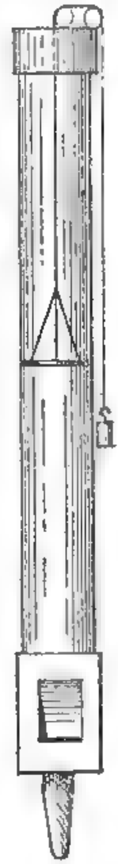
kleines Messer, so, dafs es die Wachsröhre berührt. Spricht man, während die Trommel gedreht wird, durch ein Rohr deutlich in diesen Schalltrichter, so geraten Glas und Messer in Schwingungen, und das Messer macht in das Wachs Eindrücke, welche den Schwingungen entsprechen. Zur hörbaren Wiedergabe der aufgezeichneten Töne dient ein zweiter Schalltrichter, ebenfalls mit einer dünnen Glasplatte, deren Stift einen gebogenen, in einem sehr feinen Knöpfchen endigenden Hebel trägt; ein kleines Gewicht drückt das Knöpfchen gegen die Wachsrolle. In diesen Schalltrichter ist eine Gummiröhre eingesetzt; dieselbe teilt sich in zwei dünnere Röhren, deren Enden der Hörende in die Ohren nimmt. Oder es wird ein Schallbecher *F* auf den Schalltrichter befestigt; dann können einige Personen zugleich die wiedergegebenen Worte oder Töne vernehmen. Nach Entfernung des ersten Schalltrichters stellt man das Knöpfchen des zweiten genau auf den Anfang der Schrift und setzt die Trommel in drehende Bewegung wie vorher. Indem dabei das Knöpfchen alle Eindrücke der Aufzeichnung berührt, setzt diese das Knöpfchen, die dünne Glasplatte und die Luft in Schwingungen, welche den die Aufzeichnung bewirkenden genau gleich sind, und die Vorrichtung gibt das Gesprochene hörbar wieder. Ähnlich wirkt das von Berliner erfundene **Grammophon.**

§ 130. Die Blasinstrumente.

1. **Tönende Luftsäulen.** Nicht die Wände der Blasinstrumente schwingen, denn man kann sie, ohne den Ton zu stören, anfassen; auch verwendet man zu Orgelpfeifen das wenig elastische Zinn, und die Dicke der Wände ist für die Höhe des Tones gleichgültig. Bläst man eine gläserne Pfeife an (Fig. 263), in welche an einem Faden eine über einen Metallring gespannte Papierscheibe hinabgelassen

ist, so geraten auf der Scheibe liegende Sandkörner oder Holundermarkkügelchen in eine hüpfende Bewegung, welche (beim Grundton) in einer offenen Pfeife am stärksten oben und unten, am schwächsten in der Mitte ist, während sich bei einer oben gedeckten Pfeife die stärkste Bewegung unten, die schwächste oben zeigt. Die Luft in der Röhre schwingt also der Länge nach hin und her, sie macht Längs- oder Longitudinalschwingungen. Da ruhende und besonders lebhaft bewegte Schichten oder Schwingungsknoten und Schwingungsbäuche zu unterscheiden sind, so führt die Luftsäule stehende Longitudinalschwingungen aus, welche die Ursache des Tönens sind. **In jedem Blasinstrumente ist der tönende Körper eine Luftsäule, die stehende Longitudinalschwingungen macht.**

Fig. 263.

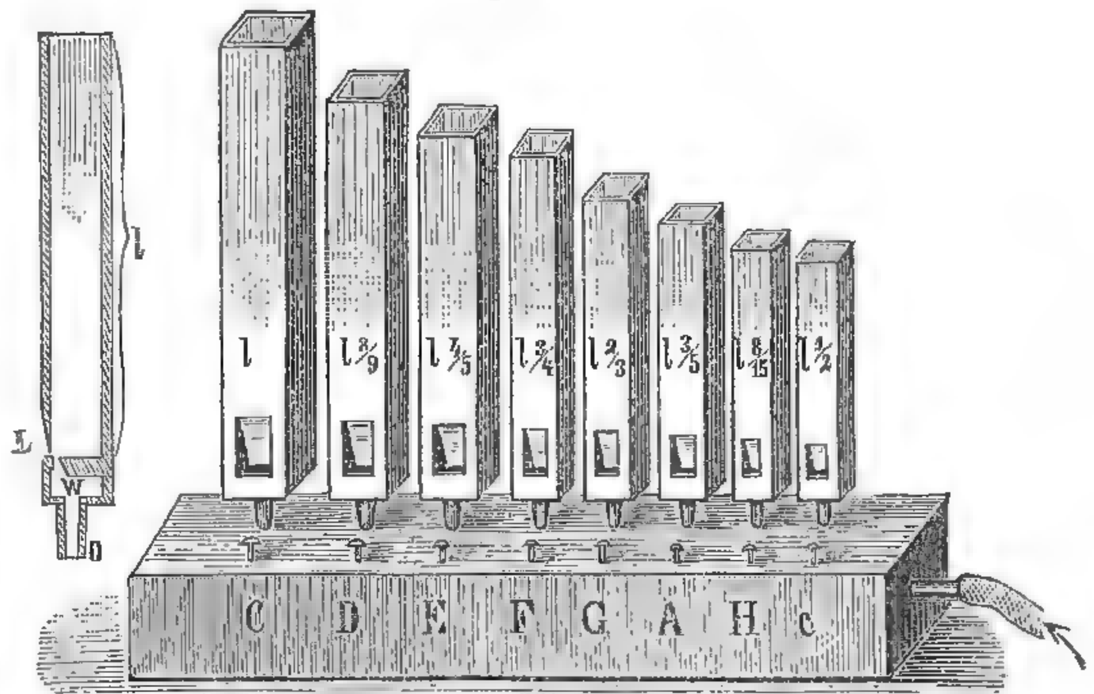


2. Arten der Blasinstrumente. In Gebrauch sind Blasinstrumente:

I. mit einer Mundöffnung: die Lippenpfeifen der Orgel, Flöte, Signalpfeife. a) die Lippenpfeifen. Wird eine Pfeife nicht zu stark angeblasen, so gibt sie ihren Grundton, bei stärkerem Anblasen erzeugt sie höhere Töne. Werden nacheinander Pfeifen auf ihren Grundton angeblasen, deren Längen sich zueinander verhalten wie $1 : {}^8/_9 : {}^4/_5 : {}^3/_4 : {}^2/_3 : {}^3/_5 : {}^8/_{15} : {}^1/_2$ (Fig. 264), so hört man die diatonische Tonleiter und die Oktave des ersten Tones, also gilt, entsprechend dem Satze über die Saiten, der Satz: **Die Schwingungszahlen der Grundtöne der Lippenpfeifen verhalten sich zu einander umgekehrt wie die Pfeifenlängen.**

Hält man eine angeschlagene Stimmgabel, die den Kammerton a^1 gibt, über ein offenes Standglas, das bis 195 mm unter dem Rande mit Wasser gefüllt ist, so hört man den Ton a^1 sehr stark, weil die Luftsäule im Glase durch Resonanz in eine schwingende Bewegung gerät, die auch das a^1 erzeugt. Man unterscheidet gedeckte und offene Pfeifen. Auch eine angeblasene, gedeckte Lippenpfeife von 195,5 mm Länge gibt das eingestrichene a^1, dessen Wellenlänge 782 mm ist (s. S. 149); die Länge der Pfeife (195,5 mm) beträgt mithin den vierten Teil der Wellenlänge des Tones (782 mm). Es gilt der Satz: **Die Wellenlänge des Grundtons einer gedeckten Pfeife ist gleich dem Vierfachen der Pfeifenlänge.**

Fig. 264.



Soll eine offene Pfeife den Kammerton geben, so mufs sie 391 mm lang sein. **Die Wellenlänge des Grundtons einer offenen Pfeife ist doppelt so grofs wie die Pfeifenlänge.**

Beide Sätze ergeben daher den Satz: **Eine gedeckte und eine offene Pfeife geben denselben Grundton, wenn die gedeckte Pfeife halb so lang ist wie die offene Pfeife.**

In den Lippenpfeifen (Fig. 264) spaltet sich der unten in den Fufs *O* eintretende Luftstrom an der zugeschärften Oberlippe *L* der Mundöffnung, und ein schmaler Luftstrom reibt sich, wie ein Bogen an der Saite, an der Luftsäule der Pfeife, ihrer ganzen Länge nach. Dabei entsteht bei den gedeckten Pfeifen, solange sie ihren Grundton geben, am oberen, geschlossenen Ende abwechselnd eine Luftverdichtung und Verdünnung, wobei die äufserste Schicht am geschlossenen Ende selbst völlig in Ruhe bleibt und einen Schwingungsknoten bildet.

Das offene Ende dagegen bildet einen Schwingungsbauch; hier findet der lebhafteste Hin- und Hergang der schwingenden Luft statt, was aber nicht mit einem Ab- und Zuströmen von äufserer Luft verbunden ist; die Luftsäule in der Röhre schwingt für sich selbst als Ganzes. Ist die Pfeife offen, so entsteht beim Grundton ein Schwingungsknoten mit abwechselnder Verdichtung und Verdünnung in der Mitte der Röhre, während an beiden Enden sich Schwingungsbäuche befinden. Die Vorgänge lassen sich mit der gläsernen Röhre (Fig. 263) sichtbar machen. Geben die Pfeifen statt ihres Grundtons höhere Töne, so liegen die Schwingungsknoten und Bäuche anders; bei den gedeckten Pfeifen liegt aber stets am geschlossenen Ende ein Knoten, während bei allen Pfeifen an den offenen Seiten Bäuche liegen. b) In der Flöte reicht die schwingende Luftsäule bis zur ersten, nicht mit den Fingern verschlossenen Öffnung.

II. mit einem Kesselmundstück: Waldhorn, Trompete, Posaune. An ein Kesselmundstück gelegt, geraten die Lippen des Musikers in Schwingungen und bewirken Verdichtungen und Verdünnungen der Luft; die verschiedenen Töne des Waldhorns und der Trompete werden durch verschiedene Stärke des Anblasens und teilweises Verschliefsen der weiten Öffnung hervorgebracht, bei der Posaune durch Verlängerung und Verkürzung der Luftsäule.

III. mit einer elastischen Zunge: Klarinette, Oboe, Fagott und die Zungenpfeifen der Orgel. In diesen Instrumenten wird ein elastisches Plättchen, wie man es am Harmonium und der Mundharmonika sieht, in tönende Bewegung gesetzt und teilt dieselbe der Luftsäule mit. Das menschliche Stimmorgan hat mit den Zungenpfeifen Ähnlichkeit; in dem Kehlkopf, dem oberen Teil der Luftröhre, werden die Stimmbänder oder Stimmlippen durch einen Luftstrom in tönende Schwingungen gesetzt; die Höhe des Tones hängt von der Länge und Spannung der Stimmbänder ab.

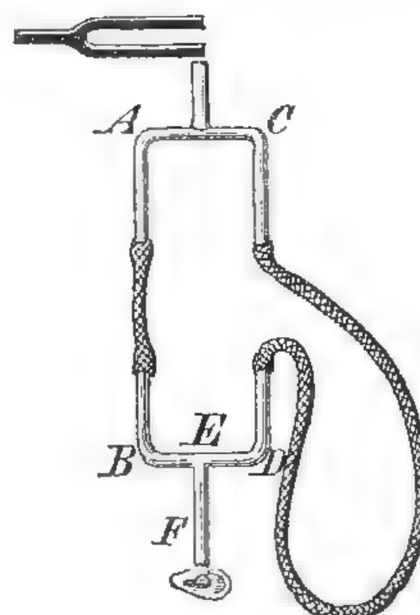
§ 131. Die Interferenz der Schallwellen.

1. **Schwebungen.** Beschwert man von zwei gleichen Stimmgabeln die eine mit ein wenig Wachs oder mit einer kleinen Metallmasse, so macht sie, angeschlagen, weniger Schwingungen als die andere und gibt einen tieferen Ton. Tönen beide Stimmgabeln gleichzeitig, so vernimmt man deutlich ein abwechselndes An- und Abschwellen der Tonstärke. Das Anschwellen der Tonstärke beider wenig verschiedener Töne nennt man eine Schwebung. Schwebungen (auch Stöfse genannt) können auch von wenig verschieden gestimmten Pfeifen oder Saiten usf. erzeugt werden.

Eine Tonquelle A erzeuge in einer Sekunde 60, eine andere Tonquelle B 50 Schwingungen; dann sind die Wellenlängen der beiden Töne $\frac{340}{60}$ m und $\frac{340}{50}$ m (§ 127,3, S. 149). Haben sich an einem Orte in der Umgebung der Tonquellen, wo sich der Hörende befindet, zu einer Zeit eine Verdichtung der einen und eine Verdichtung der anderen Tonquelle getroffen, so haben sie sich verstärkt und eine Schwebung erzeugt. Da aber 6 Wellenlängen des von der Tonquelle A kommenden Kugelwellenzuges so lang sind wie 5 Wellenlängen des von B ausgehenden Wellenzuges, $\frac{340}{60}\text{ m} \times 6 = \frac{340}{50}\text{ m} \times 5 = 34$ m, so mufs jeder Wellenzug erst 34 m fortschreiten, bis abermals eine Verdichtung des einen Wellenzuges mit einer Verdichtung des anderen Wellenzuges an dem gleichen Orte zusammentrifft und eine neue Schwebung erzeugt. Da sich jede Welle, also auch jede Verdichtung, in 1 Sekunde 340 m fortpflanzt, so braucht jeder Wellenzug 0,1 Sekunde, um die zunächst noch 34 m entfernte Verdichtung bis ans Ohr des Hörenden zu bringen. Daher vernimmt das Ohr allemal nach 0,1 Sekunde eine Schwebung, in einer Sekunde also 10 = 60—50 Schwebungen. Es gilt der Satz: **Die Zahl der Schwebungen in einer Sekunde ist gleich dem Unterschiede der Schwingungszahlen der die Schwebungen erzeugenden Töne.** Daher kann die Zahl der Schwebungen dazu dienen, den Grad der Übereinstimmung der Schwingungszahlen zweier Tonquellen festzustellen und Tonquellen gleichzustimmen.

2. **Quinckes Interferenzversuch.** Sendet man einem Ohre (Fig. 265) von einer Stimmgabel ausgehende Schallwellen zu, die sich zum Teil auf verschieden langen Wegen fortgepflanzt haben, so müssen sie interferieren. Treffen bei E von beiden Seiten Verdichtungen mit Verdichtungen, Verdünnungen mit Verdünnungen zusammen, so verstärken sich die Schwingungen und das Ohr hört bei F einen starken Ton. Das ist aber der Fall, wenn der Weg von C bis D um 1, 2, 3 usf. Wellenlängen gröſser ist als der von A bis B. Das Ohr hört bei F keinen Ton, wenn die von der einen Seite bei E ankommenden Verdichtungen von den Verdünnungen, die von der anderen Seite kommen, ausgeglichen werden, weil dann bei F keine Schallwellen austreten. Das findet statt, wenn der Wegunterschied zwischen CD und AB $^1/_2$, $^3/_2$, $^5/_2$ usf. Wellenlängen beträgt.

Fig. 265.



II. Erscheinungen des Lichtes.

A. Ursprung und Verbreitung des Lichtes.

§ 132. Die Lichtquellen.

Es gibt Körper, welche Licht erregen und ausstrahlen. Solche Körper heiſsen selbstleuchtende Körper oder Lichtquellen. Zu denselben gehören: 1. **Die Sonne** (§ 156, 5) **und die Fixsterne.** 2. **Verbrennende und glühende Körper.** Eine Flamme leuchtet dann hell, wenn sich in derselben glühende feste Körper befinden. In unseren Kerzen-, Lampen- und Gasflammen glüht fein zerteilte Kohle; sie scheidet sich leicht auf einem in die Flamme gehaltenen kühleren Körper, z. B. einem Porzellangefäſs oder Papierblatt ab. Beim Gasglühlicht, 1885 zu Wien von Auer erfunden, wird ein Glühstrumpf durch eine nicht leuchtende Gasflamme (Bunsenbrenner) in Weiſsglut versetzt. Der Glühstrumpf ist ein gestricktes Baumwollengewebe, welches mit einer wässerigen Lösung eines Gemisches von 99 % Thoriumnitrat und 1 % Ceriumnitrat getränkt und nach dem Trocknen durch Glühen zu einem festen Aschenskelett verwandelt worden ist. Sehr hell ist das Drummondsche Kalklicht; es entsteht, wenn gebrannter Kalk in einer Flamme von Sauerstoff und Wasserstoff glüht. Beim Zirkonlicht glüht eine kleine Platte von Zirkonoxyd in einer Flamme von Sauerstoff und Leuchtgas. Auch verbrennendes Magnesium, Zinkmagnesium, und beim Magnesiumblitzlicht ein Gemenge von Magnesiumstaub und chlorsaurem Kali leuchten sehr hell und finden beim Photographieren Anwendung. 3. **Phosphoreszierende Stoffe,** welche gleich dem Phosphor bei geringer Wärme im Dunkeln leuchten, z. B. faulendes Holz, der Diamant, wenn er erwärmt wird, ein Stück Zucker, wenn es zerbrochen wird, und die künstlichen Leuchtsteine (Schwefelcalcium und Schwefelbaryum), wenn sie zuvor den Strahlen eines sehr hellen Lichtes ausgesetzt worden sind. 4. **Leuchtende Tiere,** wie unsere Johanniswürmchen, die Leuchtkäfer in Amerika und die zahllosen Infusorien des Meeres. 5. **Elektrisierte und von Elektrizität durchströmte Körper** (§ 18, 5 und 33), elektrisches Glühlicht und Bogenlicht. **Aber die meisten Körper sind nicht selbstleuchtend,** sondern dunkel und werden uns dadurch sichtbar, daſs sie von selbstleuchtenden Körpern, z. B. von der Sonne, Licht erhalten, dasselbe zurückwerfen und unseren Augen zusenden; denn nur dann wird uns ein Gegenstand sichtbar, wenn von ihm Licht in unsere Augen gelangt.

§ 133. Die geradlinige Verbreitung des Lichtes.

Wenn in ein dunkles, mit Staub erfülltes Zimmer durch eine kleine Öffnung Sonnenlicht fällt, so sehen wir, dafs die vom Licht getroffenen Staubteilchen in einer geraden Linie liegen. Das Licht verbreitet sich daher geradlinig. Eine Lichtflamme ist nach allen Seiten hin sichtbar; wird aber in gerader Linie zwischen derselben und unserem Auge ein undurchsichtbarer Schirm aufgestellt, so verdeckt uns dieser die Flamme, und wir sehen sie nicht mehr. Der Schirm versperrt dem von der Flamme ausgesandten Licht den geraden Weg nach dem Auge; es hat keinen anderen Weg dahin und kann deshalb nicht ins Auge gelangen.

Von leuchtenden Körpern aus verbreitet sich das Licht nach allen Richtungen in geraden Linien. Die geraden Linien, in welchen sich das Licht verbreitet, heifsen Lichtstrahlen.

Für die Verbreitung des Lichtes durch die Körper hindurch teilt man diese ein in durchsichtige, welche den gröfsten Teil des Lichtes hindurchlassen, durchscheinende, wie dünnes Papier oder mattgeschliffenes Glas, welche einiges Licht durchlassen, ohne dafs man die Gestalt des leuchtenden Gegenstandes zu erkennen vermag, und undurchsichtige Körper, welche kein Licht durchlassen.

§ 134. Der Schatten.

Eine Folge von der geradlinigen Verbreitung des Lichtes ist der Schatten.

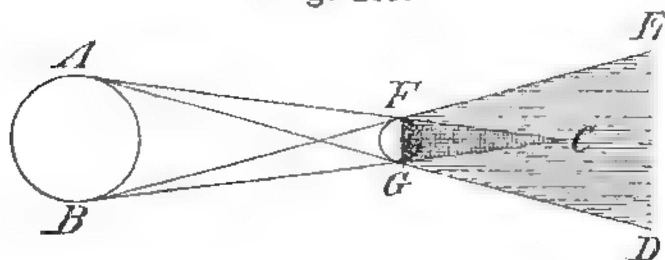
1. Entstehung des Schattens. **Wird die geradlinige Verbreitung des Lichtes durch einen undurchsichtigen Körper gehindert, so entsteht hinter demselben ein Schatten. Der Schatten ist der wenig oder gar nicht beleuchtete Raum hinter einem beleuchteten, undurchsichtigen Körper.** Kernschatten ist der Raum, welcher gar kein Licht empfängt, Halbschatten der den Kernschatten umgebende Raum, der nur von einem Teile des leuchtenden Körpers erhellt wird (Fig. 266).

2. Lage des Schattens. Der Schatten liegt stets in gerader Linie mit dem leuchtenden und dem beleuchteten Körper und bewegt sich, wenn der leuchtende Körper sich bewegt, in entgegengesetzter Richtung. Der Schatten eines Baumes fällt am Morgen, wenn die Sonne im Osten steht, nach Westen, und am Abend, wenn die Sonne im Westen steht, nach Osten.

3. Gestalt des Schattens. Die Gestalt des Schattens richtet sich nicht blofs nach der Gestalt des undurchsichtigen Körpers, sondern auch nach der Stellung und Gröfse des leuchtenden Körpers. Ist der leuchtende Körper der kleinere, so werden Kern- und Halbschatten kleiner, wenn sich die Körper voneinander entfernen; ist dagegen der leuchtende Körper der gröfsere, so wird der Kernschatten bei gröfserer Entfernung immer gröfser, der Halbschatten kleiner.

4. Sonnenfinsternis und Mondfinsternis. Auf der von der Sonne abgewandten Seite (Fig. 266) des Mondes befindet sich als Kernschatten ein Schattenkegel *FCG*, welcher vom Halbschatten *EFCGD* umgeben ist. Bei Neumond kann die Spitze des Kernschattens des Mondes die Erde treffen. Die davon betroffenen Orte haben dann totale Sonnenfinsternis, von ihnen aus ist die Sonne unsichtbar. Orte, die sich nur im Halbschatten befinden, haben partielle Sonnenfinsternis, von ihnen aus sind nur sichelförmige Teile der Sonne zu sehen. Zuweilen ist der Mond so weit von der Erde entfernt, dafs der Schattenkegel des Mondes die Erde nicht erreicht. Dann können die Bewohner der Orte, durch welche die Verlängerung der Achse des Schattenkegels geht, am Schattenkegel vorbei einen ringförmigen Teil der Sonne sehen; sie haben ringförmige Sonnenfinsternis. Der Kernschatten, den die Erde wirft, ist ein Schattenkegel von einer Länge von 216 Erdhalbmessern. Bei Vollmond kann der Mond

Fig. 266.



welcher nur 60 Erdhalbmesser von uns entfernt ist, diesen Erdschatten durchschneiden; geschieht dies, so haben wir eine Mondfinsternis, die partiell oder total ist, je nachdem der Mond in den Schattenkegel nur zum Teil eindringt oder ganz eintaucht.

§ 135. Leuchtkraft und Stärke der Beleuchtung.

Zu unterscheiden sind Leuchtkraft und Stärke der Beleuchtung. Die **Leuchtkraft** ist die Menge der Lichtstrahlen, welche eine Lichtquelle aussendet. Die **Stärke der Beleuchtung** oder **Beleuchtungsstärke** ist die Menge der Lichtstrahlen, von der die Flächeneinheit einer Körperoberfläche, also etwa 1 qcm, getroffen wird. Bringt man ein Blatt weifses Papier erst in geringe, dann parallel zur ersten Lage, in gröfsere Entfernung von einer Kerzenflamme, so bemerkt man, dafs die gleiche Leuchtkraft eine um so geringere Beleuchtungsstärke erzeugt, je gröfser die Entfernung ist. Die Abnahme der Beleuchtungsstärke bei gröfserer Entfernung des beleuchteten Körpers von der Lichtquelle ist eine andere Folge der geradlinigen Verbreitung des Lichtes. Stellt Fig. 267 eine Pyramide vor, die in der Entfernung 1 von der Spitze L von der Fläche a, in der Entfernung 2 von der Fläche b, in der Entfernung 3 von der Fläche c geschnitten wird, so sieht man, dafs b viermal, c neunmal so grofs ist wie die Fläche a. Ist L ein leuchtender Punkt, so mufs sich also dieselbe Lichtstrahlenmenge in der doppelten Entfernung über eine viermal so grofse, in dreifachem Abstande über eine neunmal so grofse Fläche ausbreiten. Daher empfängt jede Flächeneinheit in doppelter Entfernung nur $^1/_4$, in dreifacher Entfernung nur $^1/_9$ des Lichtes wie in der Entfernung 1.

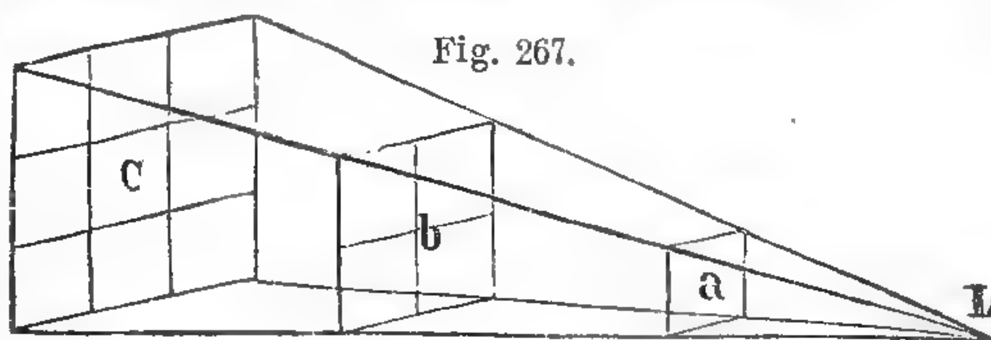


Fig. 267.

Die Stärke der Beleuchtung einer Fläche nimmt in demselben Verhältnis ab, in welchem die Quadratzahlen der Entfernung von der Lichtquelle zunehmen*).

Soll daher die Fläche b von L aus gerade so stark beleuchtet werden wie vorher die Fläche a, so mufs die Leuchtkraft von L viermal gröfser sein als vorher. Um von L aus gleiche Beleuchtungsstärke auf der im Vergleich zu a neunmal gröfseren Fläche c zu erzeugen, mufs die Leuchtkraft von L neunmal vergröfsert werden. Hierauf beruhen die **Photometer** oder Vorrichtungen zum **Messen der Leuchtkraft.** Das **Schattenphotometer** (Fig. 268) besteht aus einer weifsen lotrechten Fläche und einem lotrechten Stäbchen ab, welches 5 cm vor der Fläche aufgestellt ist. Soll die Leuchtkraft einer Flamme ermittelt werden, so vergleicht man sie mit der

*) Dieses Gesetz gestattet, vergleichsweise die Licht- und Wärmemengen zu berechnen, welche die Planeten unseres Sonnensystems durchschnittlich in gleicher Zeit auf jeder Flächeneinheit von der Sonne empfangen.

		Kleine Planeten				Grofse Planeten			
		Merkur	Venus	Erde	Mars	Jupiter	Saturn	Uranus	Neptun
Abgerundete Entfernungen der Planeten von der Sonne	in Millionen geogr. Meilen	$7^3/_4$	$14^1/_2$	20	$30^1/_2$	104	191	384	602
	wenn der Erdabstand von der Sonne gleich 1 ist	$^3/_8$	$^3/_4$	1	$^3/_2$	5	10	19	30
Licht- und Wärmemengen auf der Flächeneinheit		$^{64}/_9=7^1/_9$	$^{16}/_9=1^7/_9$	1	$^4/_9$	$^1/_{25}$	$^1/_{100}$	$^1/_{361}$	$^1/_{900}$

Welche Schlufsfolgerung drängt sich uns bezüglich der Möglichkeit organischen Lebens, ähnlich dem der Erde, auf den kleinen und grofsen Planeten auf?

Leuchtkraft, welche die Flamme einer Normalkerze besitzt. Als Normalkerze gelte eine Paraffinkerze mit einem Durchmesser von 2 cm und einer Flamme von 5 cm Höhe (jetzt meist die 4 cm hohe Flamme der Amylacetatlampe von Hefner-Alteneck). Die Normalkerze c in 1 m Entfernung von der Fläche und die zu prüfende Flamme d werfen nebeneinander vom Stabe zwei Schatten m und n, von welchem der eine (n) nur durch die Normalkerze, der andere (m) nur durch die zu prüfende Flamme beleuchtet ist. Diese schiebt man nun in eine solche Entfernung von der Fläche, dafs die beiden Schatten gleich hell erscheinen, also gleiche Beleuchtungsstärke besitzen, und mifst die Entfernung der Flamme von der Fläche. Ist die Entfernung = 2 m, so erzeugt die Flamme auf eine Entfernung, die gleich dem doppelten Abstande der Normalkerze ist, die gleiche Beleuchtungsstärke wie die Normalkerze, also leuchtet die Flamme wie 4 Normalkerzen; ist die Entfernung = 3 m, wie 9 Normalkerzen. Die Quadratzahl der Entfernung der zu prüfenden Flamme gibt an, wie vielen Normalkerzen die Flamme gleichkommt. Das **Bunsensche Photometer** besteht im wesentlichen aus einem eingespannten weifsen Papierblatt (Fig. 269), welches in der Mitte durch Fett oder Paraffin durchscheinend gemacht ist. Der Fettfleck wird nahezu unsichtbar, wenn er von beiden Seiten gleich viel Licht erhält, was man durch zwei Normalkerzen prüft, die man auf beiden Seiten in gleichen Entfernungen aufstellt. Auf der einen Seite wird der Fettfleck von der Normalkerze L_1 aus der Entfernung *1* beleuchtet. Die auf ihre Leuchtkraft zu untersuchende Flamme L_2 wird so weit verschoben, bis der Fettfleck auf beiden Seiten gleich schwach zu sehen ist. Ist das der Fall, wenn sich L_2 in der Entfernung *5* vom Fettfleck befindet, so beträgt die Leuchtkraft der Flamme L_2 25 Normalkerzen, wie sich durch die auch beim Schattenphotometer angestellte Überlegung ergibt. — Hält man ein weifses Papierblatt in gleicher Entfernung nacheinander in verschiedenen Stellungen so gegen auffallende Lichtstrahlen, dafs die Winkel, welche die Strahlen mit der Papierfläche bilden, immer kleiner werden, so erscheint das Papier immer weniger hell. Daher hängt aufserdem die Beleuchtungsstärke von dem Winkel ab,

Fig. 268.

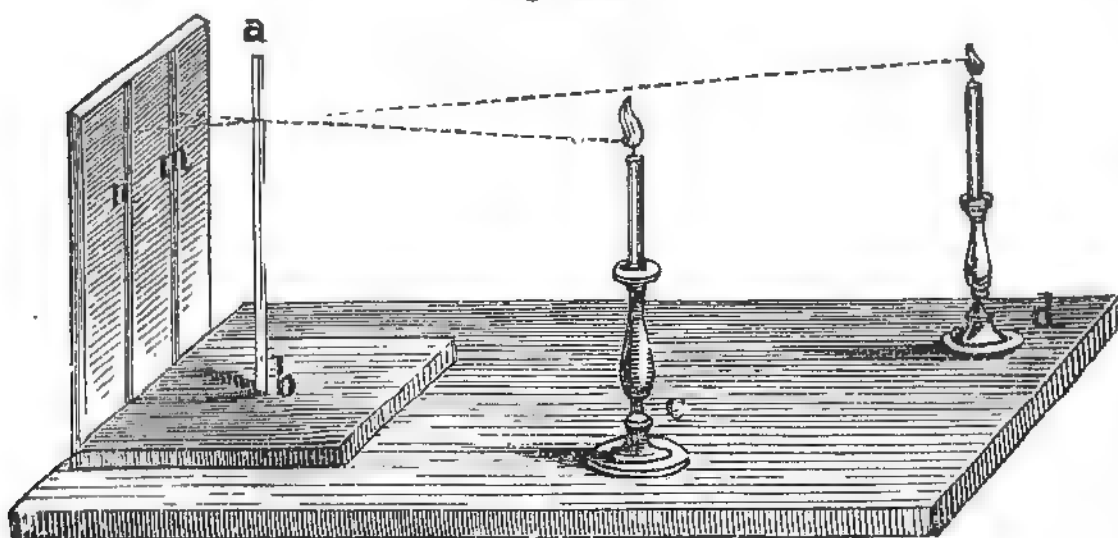


Fig. 269.

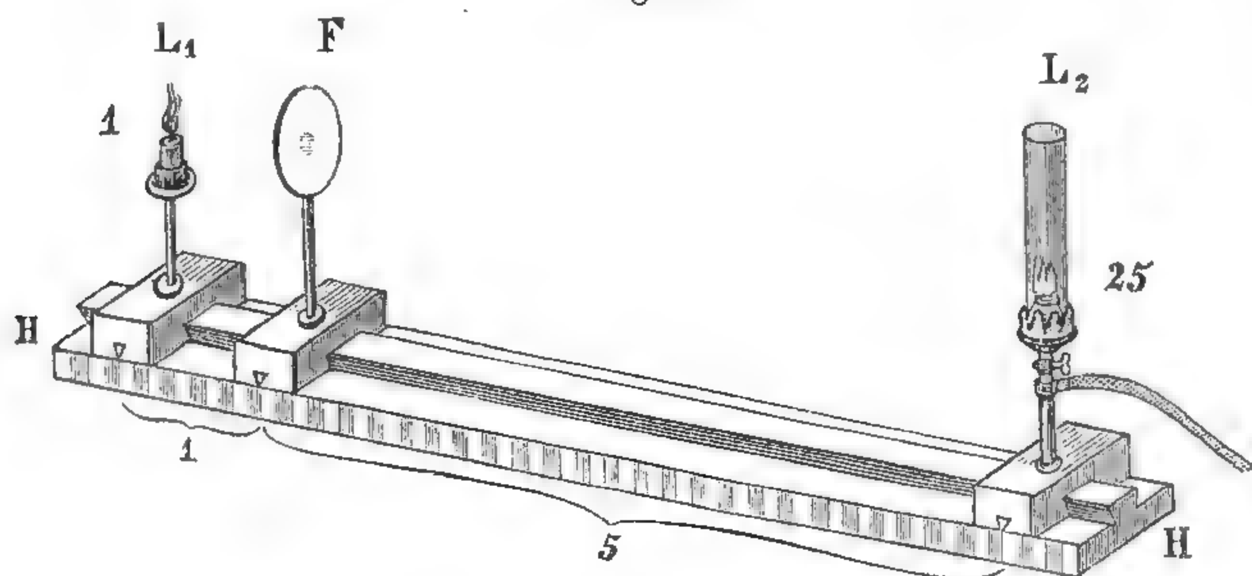
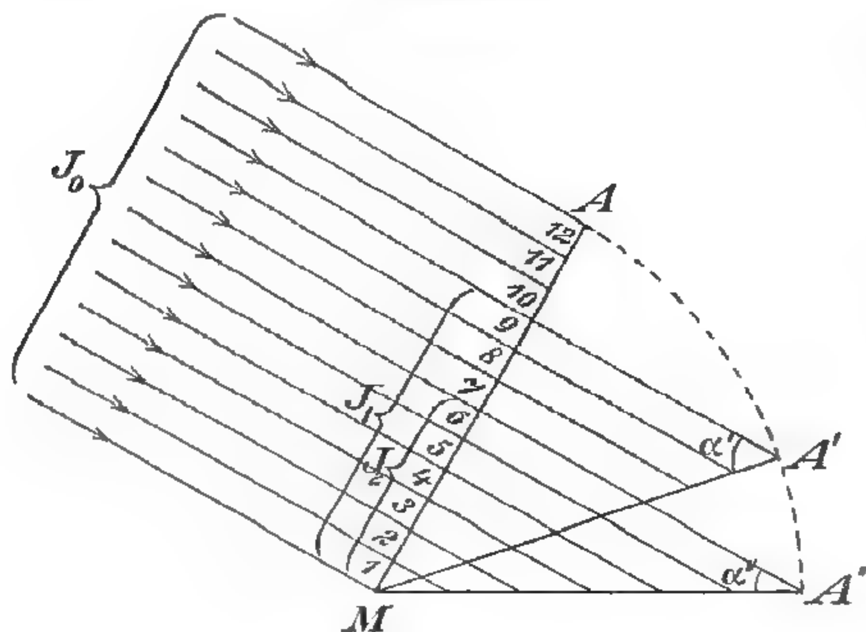


Fig. 270.

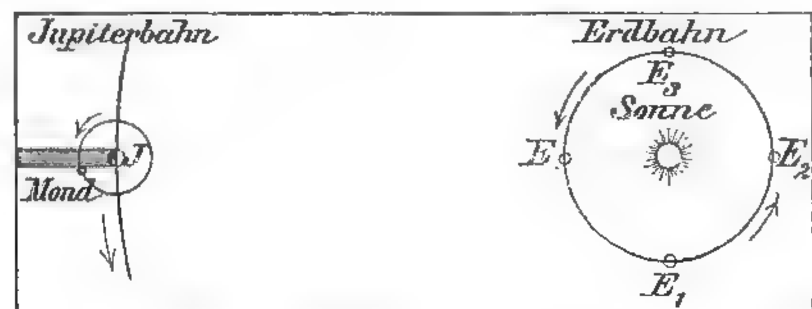


welchen die Lichtstrahlen mit einer Fläche bilden. Je schräger die Lichtstrahlen auf eine Fläche auffallen, desto weniger Strahlen treffen die Fläche (Fig. 270), desto mehr gehen an ihr vorbei, und um so weniger hell ist sie. **Die Stärke der Beleuchtung ist desto geringer, je schräger die Lichtstrahlen auffallen.**

§ 136. Die Geschwindigkeit des Lichtes.

Die Geschwindigkeit, mit welcher das Licht sich verbreitet, hat der dänische Astronom Olaf Römer i. J. 1675 bei der Beobachtung der Jupitermonde gefunden. Um den Planeten Jupiter bewegen sich 6 Monde; zwei davon sind sehr klein und erst in neuester Zeit (1891 und 1905) entdeckt worden. Der dem Jupiter nächststehende gröfsere Mond ist leichter zu beobachten; er wird bei jedem Umlauf um den Jupiter durch dessen Schatten verfinstert und tritt nach Durchquerung des Schattens aus demselben heraus. Hat nun die Erde eine solche Stellung, dafs ihre Entfernung vom Jupiter sich nicht ändert (E in Fig. 271), so folgen zwei Austritte aus dem Schatten regelmäfsig nach 42,48 Stunden; dies ist die Umlaufszeit des Jupitermondes. Befindet sich aber die Erde in der Lage E_1, so entfernt sie sich vom Jupiter, und dann wird die zwischen zwei aufeinanderfolgenden Austritten aus dem Schatten auf der Erde beobachtete Zeit um 14 Sekunden länger. Während einer vollen Umlaufszeit des Jupitermondes entfernt sich die Erde um 568 000 Meilen vom Jupiter, und die Verlängerung der zwischen zwei Austrittsbeobachtungen verflossenen Zeit um 14 Sekunden erklärt sich dadurch, dafs das Licht des Jupitermondes, um die Erde wieder zu erreichen, noch 568 000 Meilen zurücklegen mufste. **Das Licht legt** daher **in 1 Sekunde** 568 000 : 14 = **40 000 Meilen zurück. Die Geschwindigkeit des Lichtes beträgt** (abgerundet) **40 000 Meilen oder 300 000 Kilometer.**

Fig. 271.



Wir erhalten das Sonnenlicht nach 8,25 Minuten, das Mondlicht nach 1,25 Sekunden, das Licht von den Fixsternen erst nach Jahren und sehen daher am Himmel zugleich Gegenwärtiges und Vergangenes.

B. Die Zurückwerfung des Lichtes.

§ 137. Zurückwerfung und Aufnahme des Lichtes.

Wenn Lichtstrahlen einen Körper treffen, so wird ein Teil des Lichtes **zurückgeworfen oder reflektiert,** wie ein Ball oder Wasser- und Schallwellen zurückgeworfen werden; denn ohne diese Zurückwerfung des empfangenen Lichtes in unser Auge würden uns die Körper unsichtbar bleiben. Ein **durchsichtiger** oder **durchscheinender Körper,** z. B. eine helle oder eine matte Glasscheibe, wirft aber nicht nur Licht zurück, sondern er läfst auch Licht durch sich hindurch, da wir Gegenstände, die hinter ihm sind, mit dem Auge wahrnehmen können. Jedoch ist ein hinter einer Glasscheibe befindlicher Gegenstand um so undeutlicher wahrnehmbar, je dicker die Scheibe ist. Ein durchsichtiger oder durchscheinender Körper läfst daher nicht alle Strahlen, die er nicht zurückwirft, sondern die in ihn eintreten, ungehindert hindurch, er hält vielmehr einen Teil dieser Strahlen zurück und verschluckt oder absorbiert sie. Mit den Lichtstrahlen, die auf einen durchsichtigen oder durchscheinenden Körper fallen, geschieht daher dreierlei: **Ein durchsichtiger oder durchscheinender Körper wirft einen Teil der auffallenden Licht-**

strahlen zurück, einen anderen Teil verschluckt oder absorbiert er, und einen dritten Teil läfst er hindurch.

Ein **undurchsichtiger Körper** wirft ebenfalls Licht zurück, aber offenbar nicht so viel, als er empfängt. Das nicht zurückgeworfene Licht absorbiert er. Mit dem Lichte, das auf undurchsichtige Körper fällt, geschieht zweierlei: **Ein undurchsichtiger Körper wirft einen Teil des empfangenen Lichtes zurück, den anderen Teil absorbiert er.**

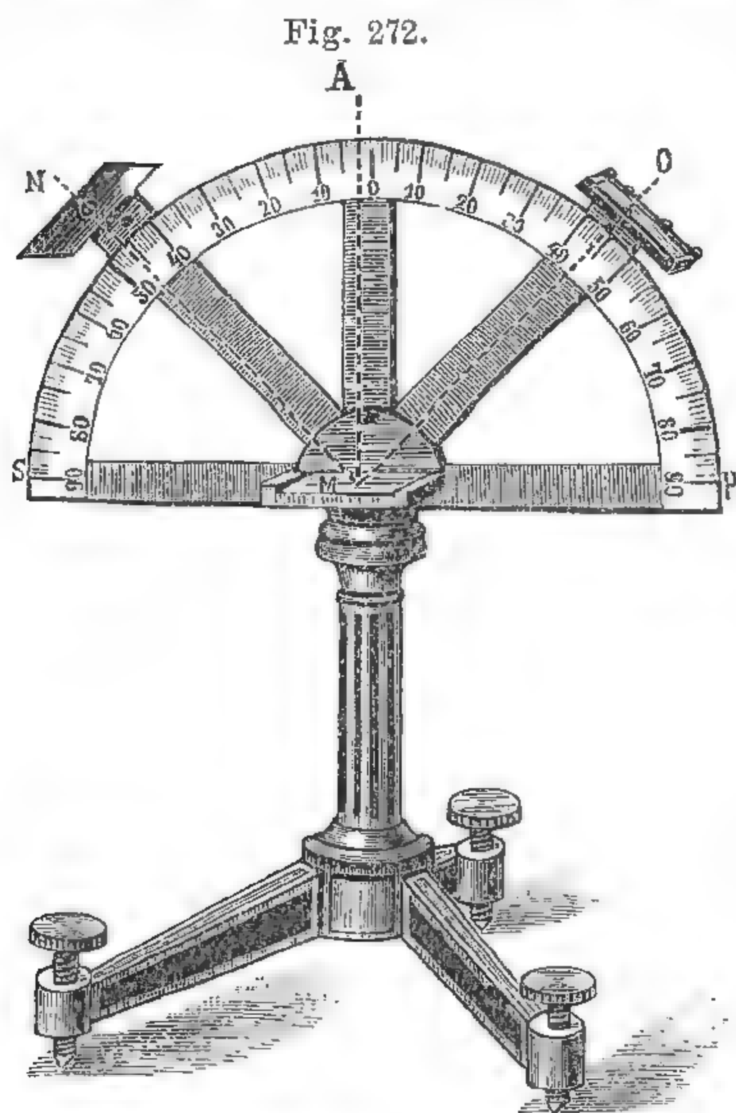
Das von dem Körper durch Absorption aufgenommene Licht dient zur Erwärmung der Körper; daher werden namentlich Körper mit rauher Oberfläche, weil sie wenig Licht zurückwerfen und viel absorbieren, im Sonnenlichte bedeutend erwärmt (§ 190, 2).

Alle durchsichtigen und undurchsichtigen **Körper mit glatter Oberfläche,** z. B. ruhiges Wasser, eine Spiegelglasscheibe, polierte Metall- oder Holzplatten, erzeugen, wenn Sonnenstrahlen auf sie fallen, durch Zurückwerfung an der Zimmerwand einen hellen Schein, der uns blendet, wenn er unmittelbar ins Auge fällt; sie sind uns aber trotzdem von verschiedenen Seiten her sichtbar. Körper mit glatter Oberfläche werfen daher das Licht vorzugsweise in einer bestimmten Richtung oder regelmäfsig zurück; sie reflektieren aber auch einen geringen Teil des empfangenen Lichtes nach verschiedenen Richtungen oder werfen es unregelmäfsig zurück. Nur in Körpern mit glatter Oberfläche erblicken wir Bilder von Gegenständen. **Ein Körper mit einer glatten Oberfläche heifst ein Spiegel.** Die Entstehung der Bilder durch den Spiegel ist, wie sich in den folgenden Abschnitten zeigt, eine Folge der regelmäfsigen Zurückwerfung des Lichtes an glatten Oberflächen.

§ 138. Hauptgesetze für die Zurückwerfung des Lichtes.

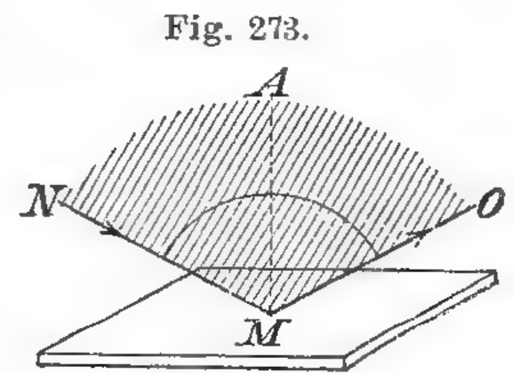
1. Läfst man in ein verfinstertes Zimmer durch die Öffnung eines Fensterladens ein Lichtstrahlenbündel auf eine ebene Spiegelscheibe fallen, so nimmt man einmal deutlich die von der Scheibe zurückgeworfenen Strahlen und aufserdem die durch das Glas hindurchgegangenen Strahlen wahr. Ein Lichtstrahl, der auf eine Fläche trifft, heifst der einfallende Strahl, der Punkt, in dem die Fläche vom Strahl getroffen wird, der Einfallspunkt. Das im Einfallspunkte auf der vom Lichtstrahl getroffenen Fläche errichtet gedachte Lot heifst das Einfallslot. Der von einer Fläche zurückkommende Strahl heifst reflektierter oder zurückgeworfener Strahl. Der Winkel, den der einfallende Strahl mit dem Einfallslot bildet, wird der Einfallswinkel, der Winkel, welchen der zurückgeworfene Strahl mit dem Lot einschliefst, Reflexions- oder Rückwerfungswinkel genannt. Fig. 272 stellt die Hälfte einer lotrecht stehenden Kreisteilung dar, vor deren Mitte sich ein kleiner wagerechter Spiegel befindet. Um den Mittelpunkt der Kreisteilung lassen sich zwei Arme drehen, von denen jeder ein mit einer Öffnung versehenes Brettchen trägt. Läfst man durch *N* einen Lichtstrahl parallel zur Ebene der Kreisteilung unter einem Einfallswinkel von 45 ⁰ auf den Spiegel fallen, so mufs man den anderen Arm so stellen, dafs er

Fig. 272.



auch einen Winkel von 45° mit dem Einfallslot *MA* bildet; dann kann man durch *O* in der Richtung *OM* den hellen Punkt *N* sehen. Der einfallende Strahl *NM* und das Einfallslot *AM* bestimmen eine Ebene, und in derselben Ebene liegt der reflektierte Strahl *MO* (Fig. 273). Der Versuch lehrt die beiden **Gesetze**: I. **Der zurückgeworfene Strahl liegt in der durch den einfallenden Strahl und das Einfallslot bestimmten Ebene. II. Der Zurückwerfungswinkel ist gleich dem Einfallswinkel.** Versuche lehren, dafs diese Gesetze für alle Arten von Spiegeln gelten.

Fig. 273.



2. **Folgen** dieser Gesetze:

a) Fallen parallele Lichtstrahlen, z. B. Sonnenstrahlen, auf eine gut ebene Fläche *EE* (Fig. 274), so sind die Einfallslote der einzelnen Strahlen zueinander parallel. Die Folge hiervon ist, dafs die parallel einfallenden Strahlen auch parallel zurückgeworfen werden. **Eine ebene Fläche wirft parallel einfallende Strahlen auch parallel oder regelmäfsig zurück.**

Fig. 274.

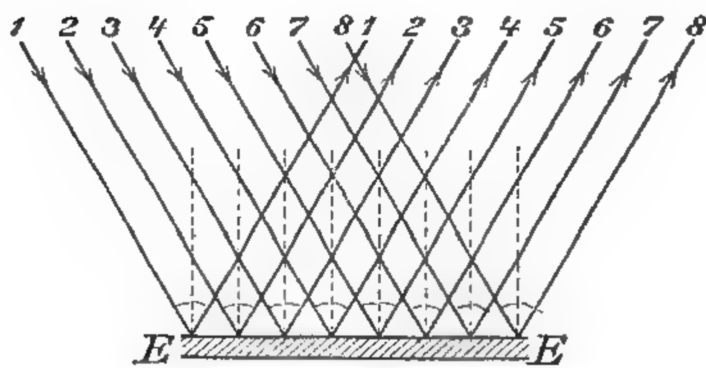
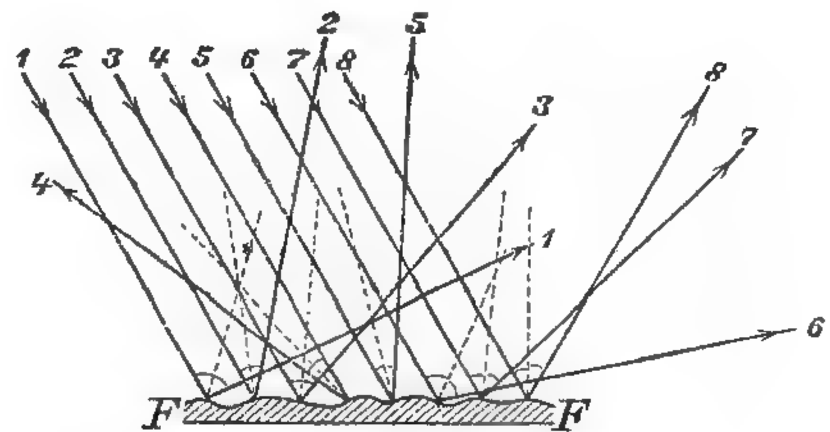


Fig. 275.

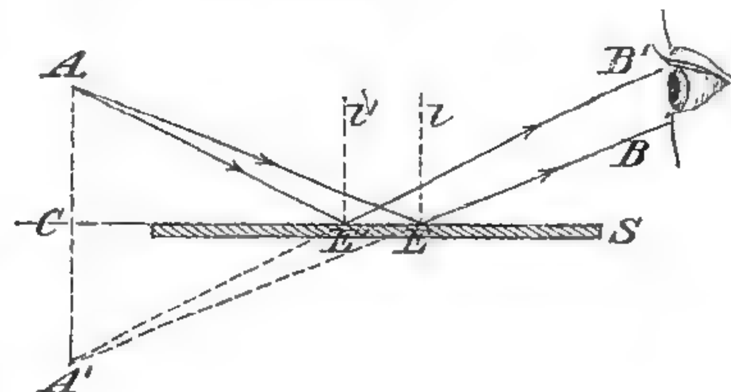


b) Fallen parallele Strahlen auf eine unebene Fläche *FF* (Fig. 275), so haben die Einfallslote der einzelnen Strahlen verschiedene Richtung. Daher werden, gemäfs den Gesetzen über die Zurückwerfung, die einzelnen Strahlen nach den verschiedensten Richtungen reflektiert. **Eine unebene Fläche wirft parallel einfallende Strahlen nach den verschiedensten Richtungen oder unregelmäfsig zurück,** sie zerstreut die Strahlen. Die **Zerstreuung, Diffusion** oder **diffuse Zurückwerfung** des Lichtes ist die Ursache, dafs uns nicht leuchtende Gegenstände **nach** verschiedenen **Richtungen hin** sichtbar werden.

§ 139. Ebene Spiegel.

1. Der gewöhnliche oder ebene Spiegel besteht aus einer Glasscheibe, die auf der Rückseite mit Zinnamalgam belegt ist; diese Belegung bildet die spiegelnde Fläche. Weil durch einen Spiegel die Lichtstrahlen regelmäfsig zurückgeworfen werden, entstehen durch ihn Bilder der Gegenstände. **Die in einem ebenen Spiegel gesehenen Bilder sind den Gegenständen an Gröfse und Gestalt gleich.** Dabei entspricht die linke Seite des Bildes der rechten Seite des Gegenstandes, und umgekehrt. Bezüglich des Ortes des erschauten Bildes gilt: **Die Bilder im ebenen Spiegel scheinen so weit hinter der Spiegelfläche zu liegen, als die Gegenstände von der Ebene des Spiegels entfernt sind.** In einem schrägstehenden, unter einem Winkel von 45° geneigten ebenen Spiegel erscheint ein aufrechtstehender Gegenstand in liegender Stellung und umgekehrt, ein liegender Gegenstand aufrechtstehend.

Fig. 276.

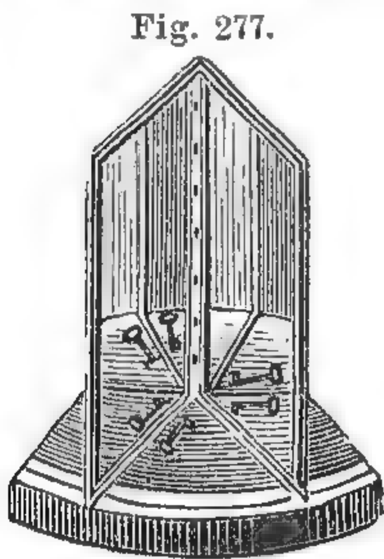


Vom Punkt *A* (Fig. 276) vor dem Spiegel *S* gehen aufser anderen Strahlen die Strahlen *AE* und *AE'* aus, die unter gleichen Winkeln gegen die Einfallslote *l* und *l'*

in den Richtungen EB und $E'B'$ vom Spiegel zurückgeworfen werden. Das Auge, welches die vom Spiegel aus auseinanderlaufenden Strahlen empfängt, gibt sich unwillkürlich der Täuschung hin, die Strahlen kämen aus dem Punkt A', in dem sich die Verlängerungen der Strahlen nach rückwärts schneiden.

2. Das durch einen Spiegel entworfene Bild kann wieder durch einen anderen Spiegel abgebildet werden. Stehen einander zwei **parallele ebene Spiegel** gegenüber, so würden von einem zwischen beiden befindlichen Gegenstande unzählig viele Bilder entstehen, wenn die Bilder nicht bei jeder Zurückwerfung schwächer würden. Bei **Winkelspiegeln** (Fig. 277), zwei ebenen Spiegeln, die unter einem Winkel aneinander stofsen, ist die Zahl der Bilder desto gröfser, je kleiner der Winkel ist. Eine Anwendung der Winkelspiegel ist das **Kaleidoskop;** es besteht aus zwei unter einem Winkel zusammengestellten und von einer Röhre umschlossenen Spiegeln; an dem einen Ende der Röhre befindet sich eine Kapsel aus zwei Glasscheiben mit farbigen Steinchen; beim Umdrehen der Röhre erblickt das hineinschauende Auge symmetrische, sternförmige Gruppierungen der Steinchen, welche sich zu Mustern für Gewebe und Tapeten eignen.

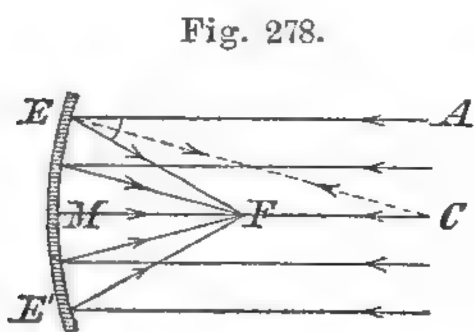
Fig. 277.



§ 140. Kugelförmige Hohlspiegel.

1. **Die Richtung der durch einen Hohlspiegel zurückgeworfenen Strahlen.** Ein Hohlspiegel oder konkaver Spiegel EE' ist ein verhältnismäfsig kleines Stück einer inwendig polierten Kugelfläche. (Fig. 278.) Eine gerade Linie CM, die man sich vom Mittelpunkt C der Kugel nach der Mitte M des Spiegels gezogen denkt, heifst die Achse des Spiegels. Wenn man den Hohlspiegel gegen die Sonne richtet, so dafs die Sonnenstrahlen parallel mit der Achse auffallen, und man die zurückgeworfenen Strahlen durch einen Streifen Papier auffängt, so zeigt sich auf demselben ein kleiner heller Kreis. Hält man den Streifen in solcher Entfernung, dafs der helle Kreis als ein Punkt erscheint, so werden in diesem Punkte alle von dem Spiegel zurückgeworfenen Strahlen vereinigt und bewirken in demselben, dem Brennpunkte oder Fokus F, eine Hitze, durch welche Papier oder Holz in Brand geraten.

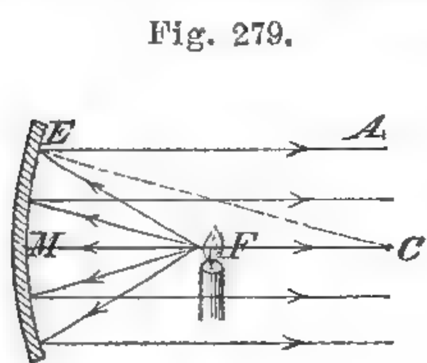
Fig. 278.



I. Die mit der Achse **parallelen Strahlen,** welche auf einen Hohlspiegel fallen, werden so zurückgeworfen, dafs sie durch den Brennpunkt gehen.

Der Brennpunkt des Hohlspiegels liegt in seiner Achse, in der Mitte zwischen dem Mittelpunkt der Kugel und dem des Spiegels. Der Kugelmittelpunkt ist vom Spiegel doppelt so weit entfernt als der Brennpunkt. Der Abstand FM des Brennpunktes vom Spiegel heifst die Brennweite desselben. Der Abstand CM des Kugelmittelpunktes vom Spiegel ist gleich der doppelten Brennweite. Der Hohlspiegel kann als Brennspiegel dienen, um leicht brennende Körper zu entzünden.

Fig. 279.



Bringt man (Fig. 279) in den Brennpunkt F eines Hohlspiegels eine Lichtflamme, so werden die von der Flamme ausgehenden Lichtstrahlen durch die Zurückwerfung parallel mit der Achse des Spiegels und verstärken in dieser Richtung die Beleuchtung.

II. Die **aus dem Brennpunkt** eines Hohlspiegels auf ihn fallenden Strahlen werden parallel mit der Achse zurückgeworfen.

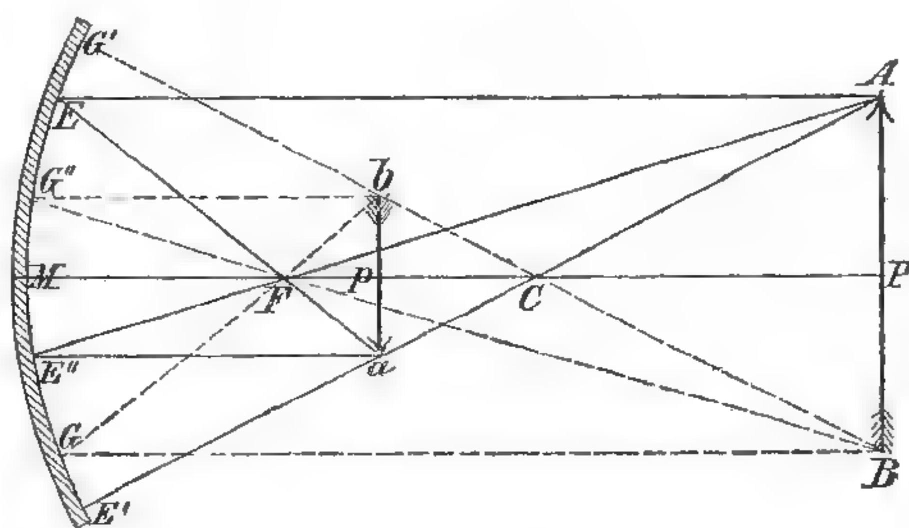
Deshalb wendet man Hohlspiegel als Beleuchtungsspiegel auf Leuchttürmen, an Laternen und Wandleuchtern an.

Wenn ein Lichtstrahl CE (Fig. 278) vom Kugelmittelpunkt C aus auf den Hohlspiegel fällt, so bildet er mit der getroffenen Stelle rechte Winkel, Einfalls- und Reflexionswinkel ist null, und daher wird er nach dem Kugelmittelpunkt zurückgeworfen. Ein solcher Strahl, welcher durch den Mittelpunkt der Kugel geht, heifst ein Hauptstrahl.

III. Die auf einen Hohlspiegel fallenden **Hauptstrahlen** werden in sich selbst zurückgeworfen.

2. **Die durch einen Hohlspiegel entstehenden Bilder.** Die Beschaffenheit der Bilder, welche ein Hohlspiegel hervorbringt, richtet sich nach der Entfernung der Gegenstände vom Spiegel. Es sind dabei **drei Hauptfälle** zu unterscheiden. Der Gegenstand kann 1. über den Kugelmittelpunkt hinaus vom Hohlspiegel entfernt sein, oder 2. zwischen Kugelmittelpunkt und Brennpunkt oder 3. zwischen Brennpunkt und Spiegel sich befinden. Man stellt zuerst ein brennendes Licht oder einen hell beleuchteten Gegenstand AB (Fig. 280) vor dem Spiegel so auf, dafs er von diesem über den Kugelmittelpunkt C hinaus entfernt ist. Es entsteht zwischen Brennpunkt F und Kugelmittelpunkt C ein Bild ab des Gegenstandes. Dasselbe läfst sich auf einem Streifen Papier auffangen und ist ein reelles oder wirkliches Bild, weil die Lichtstrahlen sich wirklich vereinigen und so weiter gehen, als kämen sie von einem Gegenstande her. Das Bild ist aufserdem umgekehrt und verkleinert.

Fig. 280.



I. **Von einem Gegenstande, welcher über den Kugelmittelpunkt hinaus vom Hohlspiegel entfernt ist, entsteht zwischen Kugelmittelpunkt und Brennpunkt ein wirkliches, umgekehrtes, verkleinertes Bild.**

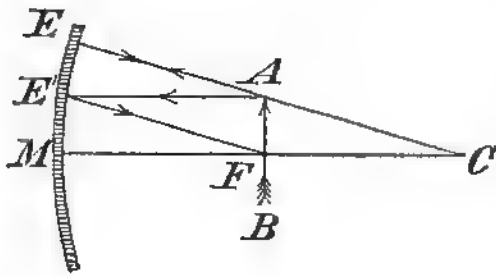
Jeder Punkt des Gegenstandes bildet sich da ab, wo die von ihm ausgehenden Strahlen sich nach der Zurückwerfung vereinigen. Wir betrachten drei vom höchsten Punkte A ausgehende Strahlen. Der von A ausgehende, zur Achse parallele Strahl AE wird durch den Brennpunkt F zurückgeworfen. Dieser zurückgeworfene Strahl EF wird vom Hauptstrahl ACE', der in sich selbst zurückgeworfen wird, im Punkte a geschnitten. Nach demselben Punkt a wird der von A aus durch den Brennpunkt F gehende Strahl AFE'' zurückgeworfen, so dafs $E''\,a$ parallel zur Spiegelachse ist. a ist das Bild des Punktes A. Wie der Punkt A sich in a abbildet, so entsteht in b ein Bild des Punktes B. Das Bild ab ist umgekehrt, weil die von den Grenzpunkten A und B des Gegenstandes ausgehenden Hauptstrahlen AE' und BG' zwischen Gegenstand und Bild sich kreuzen. Ist der Gegenstand sehr weit vom Spiegel entfernt, so ist das Bild sehr klein und dem Brennpunkt nahe. Rückt man den Gegenstand dem Kugelmittelpunkt näher, so wird sein Bild gröfser und ist dem Kugelmittelpunkt näher. Befindet sich der Gegenstand im Kugelmittelpunkt, so ist sein Bild an demselben Orte und ebensogrofs wie der Gegenstand. Man kann die mit dem Orte und der Gröfse des Bildes ab bei Veränderung des Ortes des Gegenstandes vorgehenden Änderungen leicht übersehen, wenn man sich den Gegenstand AB in der Richtung der Achse, parallel zu sich selbst verschoben denkt, nach dem Spiegel zu oder von ihm weg. Dabei behält der reflektierte Strahl EF immer seine Richtung, weil sich die Richtung des Strahles AE nicht ändert. Aber der Hauptstrahl AC ändert seine Lage, indem er sich um C dreht, und bestimmt durch seinen Schnitt mit der Verlängerung des Strahles EF den Punkt a.

Stellt man zweitens eine brennende Kerze zwischen dem Kugelmittelpunkt und dem Brennpunkt eines Hohlspiegels auf, so entsteht,

über den Kugelmittelpunkt hinaus vom Spiegel entfernt, ein Bild der Lichtflamme, das sich auffangen läfst und ein wirkliches Bild ist; daselbe ist umgekehrt und vergröfsert. In Fig. 280 läfst sich AB als Bild des Gegenstandes ab betrachten.

II. Von einem Gegenstande, welcher sich zwischen dem Kugelmittelpunkt und dem Brennpunkt eines Hohlspiegels befindet, entsteht, über den Kugelmittelpunkt hinaus vom Spiegel entfernt, ein wirkliches, umgekehrtes, vergröfsertes Bild.

Fig. 281.

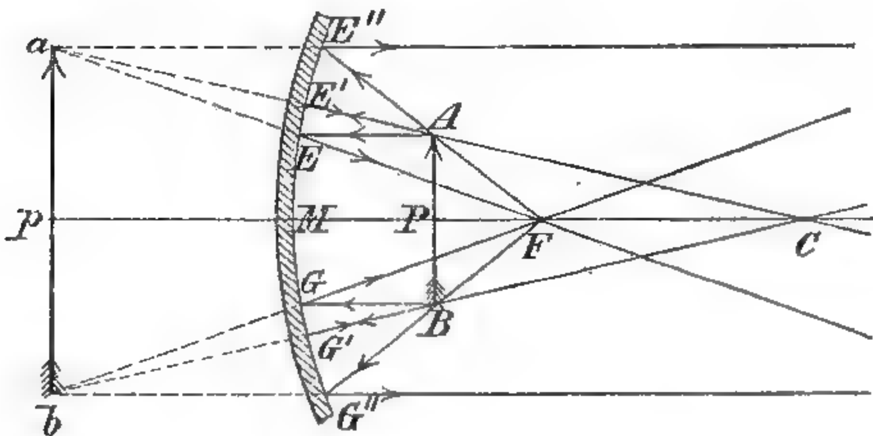


Je mehr man den Gegenstand dem Brennpunkt nähert, indem man ihn parallel zu sich selbst verschiebt, desto gröfser wird das Bild, und desto mehr entfernt es sich vom Spiegel, wie sich in der Zeichnung aus der Drehung des Hauptstrahles aCA ergibt. Befindet sich der Gegenstand im Brennpunkt, so entsteht kein Bild, weil alle Strahlen parallel zurückgeworfen werden (Fig. 281).

Weil die wirklichen Bilder sich nicht blofs auffangen lassen, sondern, besonders in dunklen oder mit Rauch erfüllten Räumen, auch frei in der Luft schwebend erscheinen, sind grofse Hohlspiegel zur Darstellung von Geistererscheinungen gebraucht worden.

Drittens bringt man dem Hohlspiegel sein eigenes Angesicht oder einen anderen Gegenstand AB so nahe, dafs er sich zwischen dem Spiegel und seinem Brennpunkt F (Fig. 282) befindet. Es erscheint ein Bild hinter dem Spiegel, wogegen die Bilder der weiter entfernten Gegenstände vor dem Spiegel entstehen. Das Bild ab des Gegenstandes AB läfst sich nicht auffangen und ist kein wirkliches Bild, weil keine wirkliche Vereinigung der Strahlen stattfindet; sondern es ist, wie bei einem ebenen Spiegel, ein scheinbares, subjektives oder virtuelles Bild.

Fig. 282.



III. Von einem Gegenstande, welcher sich zwischen dem Brennpunkt und dem Hohlspiegel befindet, entsteht, hinter dem Spiegel ein scheinbares, aufrechtes, vergröfsertes Bild.

Von dem höchsten Punkt A des Gegenstandes fällt ein Lichtstrahl AE parallel zur Achse auf den Spiegel und wird als EF durch den Brennpunkt F aurückgeworfen. Der von A ausgehende Hauptstrahl AE' wird in sich selbst reflektiert als $E'AC$. Ein dritter von dem Punkt A ausgesandter Strahl AE'' hat die Richtung, zls käme er aus dem Brennpunkt F und wird parallel mit der Achse zurückgeworfen. Ein Auge, welches von den zurückgeworfenen Strahlen getroffen wird, versetzt ihren Ausgangspunkt dahin, wo ihre Verlängerungen zusammentreffen, nach a und erhält denselben Eindruck, als ob in a der höchste Punkt des Gegenstandes wäre. Auf ähnliche Weise ergibt sich, dafs das Bild von dem untersten Punkt des Gegenstandes in b erscheint. Das Bild ab ist aufrecht, weil die von den Grenzpunkten des Gegenstandes ausgehenden Hauptstrahlen Ca und Cb sich zwischen Gegenstand und Bild nicht kreuzen, und vergröfsert. Verschiebt man den Gegenstand AB parallel mit sich selbst in der Richtung der Achse, so verändert sich die Lage des durch den Brennpunkt F zurückgeworfenen Strahles EF nicht, aber der Hauptstrahl CAE' dreht sich um C, so dafs seine Verlängerung über den Spiegel hinaus mit der Verlängerung des Strahles FE die veränderte Lage des Bildpunktes a bestimmt.

§ 141. Erhabene Kugelspiegel.

Erhabene oder konvexe Kugelspiegel können Kugeln sein, wie die Kugeln der Thermometer und die Glaskugeln in den Gärten, oder Stücke von Kugelflächen. Läfst man auf einen erhabenen Kugelspiegel die Sonnenstrahlen (fast) parallel zur Spiegelachse fallen, so entsteht auf einem vor den Spiegel (ein wenig seitlich) gehaltenen Papierblatt ein kreisrunder heller

Schein, größser als der Spiegel. Die erhabenen Spiegel zerstreuen die mit der Achse parallelen Strahlen oder bewirken, daſs sie auseinanderlaufend werden. Bewegt man das Papierblatt parallel zu sich selbst in der Richtung der Spiegelachse, so wird der helle Schein auf dem Papier um so gröſser, je gröſser die Entfernung vom Spiegel ist. Man erkennt: Durch einen erhabenen Kugelspiegel werden die mit der Achse parallelen Strahlen so zurückgeworfen und zerstreut, daſs sie alle aus dem hinter dem Spiegel liegenden Zerstreuungspunkt zu kommen scheinen, welcher in der Mitte zwischen Spiegelmittelpunkt und Kugelmittelpunkt liegt (Fig. 283).

Fig. 283.

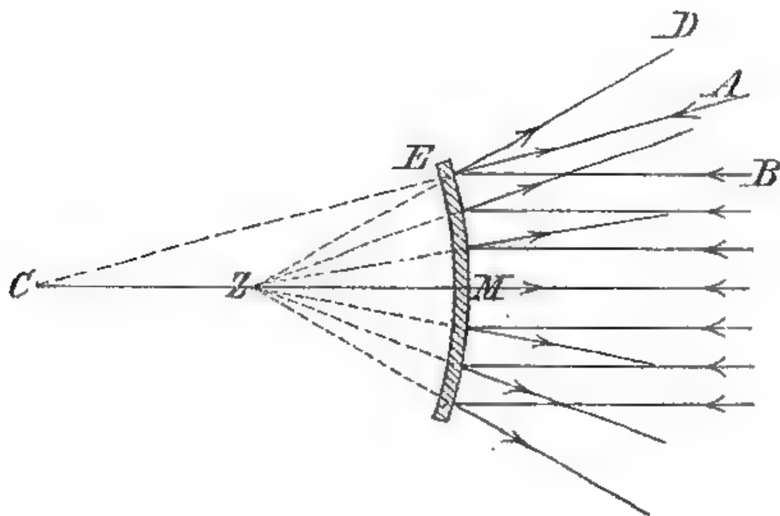
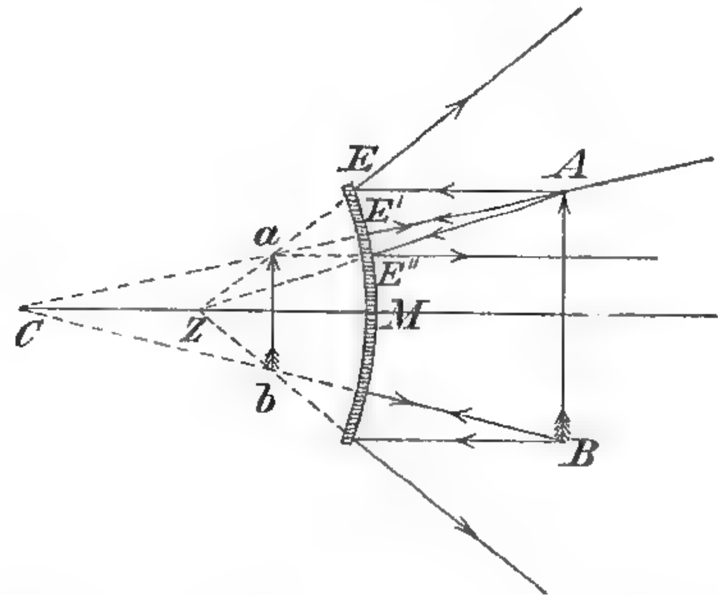


Fig. 284.



Die nach dem Zerstreuungspunkt gerichteten Strahlen werden parallel zur Achse zurückgeworfen. Die Hauptstrahlen werden in sich selbst reflektiert.

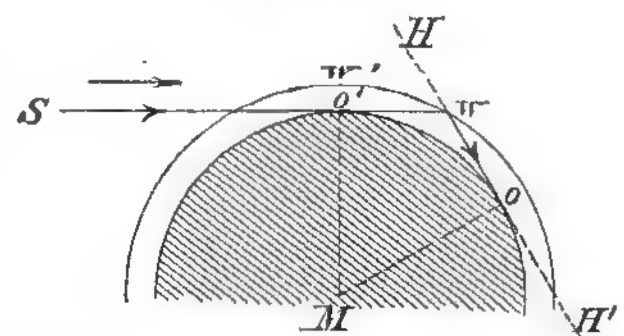
Weil erhabene Spiegel keine Vereinigung der Lichtstrahlen bewirken, bringen sie keine wirklichen Bilder hervor; sondern: **Erhabene Kugelspiegel erzeugen nur scheinbare, aufrechte, verkleinerte Bilder hinter dem Spiegel** (Fig. 284).

Je gröſser die Entfernung des Gegenstandes ist, desto kleiner und entfernter vom Spiegel ist das Bild. Entfernte und nähere Teile eines Gegenstandes, z. B. eines Menschengesichts, erscheinen daher nicht in demselben Maſse verkleinert, sondern geben ein verzerrtes Bild. Verschiebt man den Gegenstand AB parallel zu sich selbst in der Richtung der Achse, so dreht sich der Hauptstrahl AC um C. Bei Annäherung an den Spiegel wird der unverändert bleibende Strahl ZE von AC scheinbar weiter oben und näher am Spiegel geschnitten, während der Schnittpunkt a in der Richtung EZ nach Z hin rückt, wenn der Gegenstand AB vom Spiegel entfernt wird. Diese Betrachtungen lehren zugleich, daſs das Bild ab nur zwischen dem Zerstreuungspunkt Z und dem Spiegel liegen und nur aufrecht sein kann.

§ 142. Abend- und Morgendämmerung.

Wenn die Sonne untergeht und uns auf geradem Wege kein Licht mehr zusendet, würde plötzlich die Nacht hereinbrechen, wenn die Erde nicht von der Atmosphäre umgeben wäre. Die Abenddämmerung, der allmähliche Übergang von der Tageshelle zum Dunkel der Nacht, rührt daher, daſs die Luft und die Staub- und Wasserteilchen am westlichen Himmel noch lange von den Strahlen der untergegangenen Sonne getroffen werden, dieselben unregelmäſsig zurückwerfen und uns zusenden. Ebenso werfen am Morgen die höheren Luftschichten des östlichen Himmels uns bereits Sonnenlicht zu, ehe dasselbe auf geradem Wege zu uns gelangen kann. In Fig. 285 stellt $W' W$ das Stück des Himmels dar, welches Sonnenstrahlen nach dem Stück $O'O$ der Erdoberfläche zurückwirft, welches ohne die Dämmerung völlig

Fig. 285.



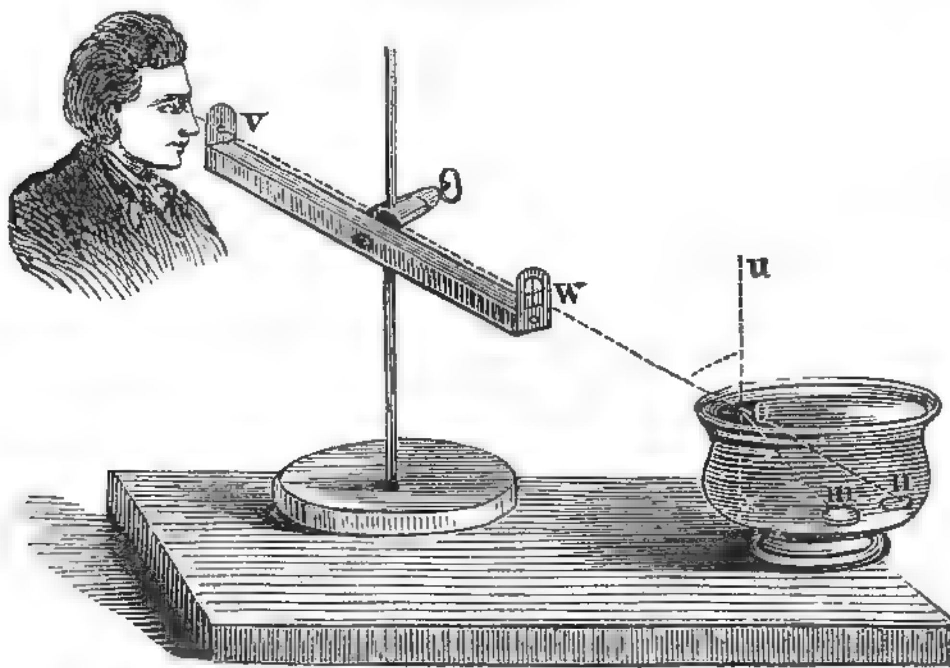
dunkel sein würde. Die Morgendämmerung fängt an, und die Abenddämmerung endet, wenn die Sonne unter 16° unter dem Horizonte steht. In Fig. 285 erscheint dieser Winkel *SWH* oder *O'MO* für den Horizont *HH'* des Ortes *O* viel zu grofs. Die Dämmerung ist bei uns am kürzesten im Mai und Oktober und dauert nur 2 Stunden; während der längsten Sommertage aber dauert sie die ganze Nacht hindurch.

C. Die Brechung des Lichtes.

§ 143. Das Gesetz für die Brechung des Lichtes.

1. Der berühmte Astronom Kepler stellte 1611 eine Vorrichtung zusammen, welche zeigt, dafs der Weg des Lichtes aus der Luft durch Glas hindurch ein ganz anderer ist, als blofs durch die Luft. Er stellte hinter ein lotrecht stehendes Brett einen ebenso hohen Glaswürfel; als die Sonnenstrahlen diese Vorrichtung trafen, wurde der Schatten des Brettes in dem Glaswürfel kürzer, als neben ihm in der Luft; die Lichtstrahlen änderten also in dem Glase ihre Richtung und wurden nach dem lotrecht stehenden Brette hingelenkt.

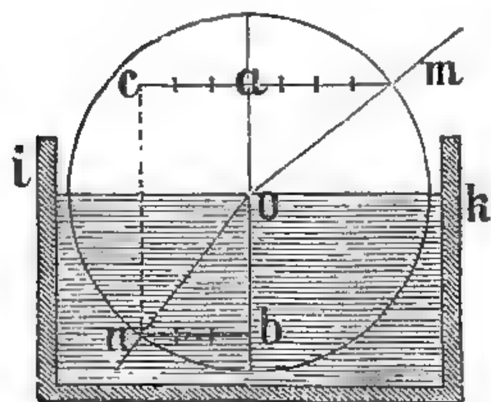
Fig. 286.



2. Auf den Boden eines undurchsichtigen Gefäfses legt man eine Münze *m* und stellt sich so, dafs dieselbe durch den oberen Rand des Gefäfses dem Auge verdeckt wird (Fig. 286). Wenn man nun Wasser in das Gefäfs giefsen läfst, so wird die Münze dem Auge von demselben Standpunkt aus sichtbar, als wäre sie (nach *n*) emporgehoben; die von der Münze aus dem Wasser in die Luft tretenden Lichtstrahlen (*mo*) nehmen die Richtung *ov* an, werden also von ihrem Einfallslote *xou* hinweggelenkt.

3. Blickt das Auge lotrecht zur Wasserfläche auf die Münze, so erscheint diese nicht verschoben. Die Lichtstrahlen, welche von der Münze ausgehen und rechtwinklig auf die Grenzfläche zwischen Wasser und Luft treffen, werden also nicht abgelenkt, sondern behalten die Richtung des Einfallslotes. Trifft ein Lichtstrahl lotrecht auf die Grenzfläche zwischen zwei durchsichtigen optischen Mitteln, so behält er die lotrechte Richtung bei. Sobald aber ein Lichtstrahl schräg auf die Grenzfläche eines anderen durchsichtigen Mittels auffällt, ändert er seine Richtung oder **wird gebrochen.** Das Hauptgesetz für die Brechung des Lichtes ist:

Fig. 287.



Geht ein Lichtstrahl schräg in ein dichteres durchsichtiges Mittel über, so wird er dem Einfallslote zu gebrochen; geht er in ein weniger dichtes Mittel über, so wird er vom Einfallslote hinweg gebrochen; in allen Fällen aber bleibt der gebrochene Strahl mit dem einfallenden Strahl und dem Einfallslote in derselben Ebene.

4. Das Gesetz läfst sich auch anders ausdrücken. Sendet (Fig. 287) ein leuchtender Punkt *m* in der Luft einen Strahl *mo* aus, welcher in dem Punkte *o* in Wasser übergeht, so ist *mo* der einfallende, *on* der gebrochene Strahl, und *aob* das Einfallslot. Der von dem einfallenden Strahl und dem Einfallslot gebildete Winkel *moa* heifst

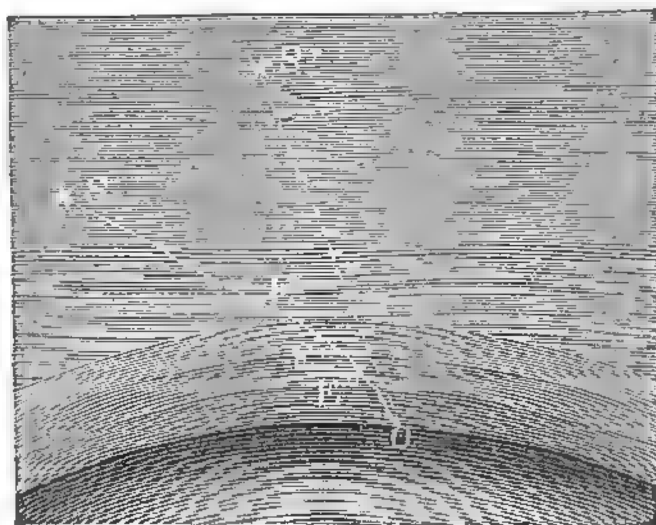
der Einfallswinkel, und der von dem gebrochenen Strahl und dem Einfallslot gebildete Winkel *nob* heifst der Brechungswinkel. Der Brechungswinkel *nob* ist kleiner als der Einfallswinkel *moa*. Der Strahl ist aus der Luft in ein dichteres optisches Mittel, in Wasser übergegangen. **Beim Übergang der Strahlen in ein dichteres Mittel ist der Brechungswinkel kleiner als der Einfallswinkel.** — Wenn dagegen *n* ein sichtbarer Punkt im Wasser ist, welcher den Strahl *no* schräg nach oben sendet, so ist *no* der einfallende und *om* der gebrochene Strahl. Der Brechungswinkel *moa* ist gröfser als der Einfallswinkel *nob*. Der Strahl ist aus Wasser in einen weniger dichten Stoff, in die Luft, übergegangen. **Beim Übergang der Strahlen in ein weniger dichtes Mittel ist der Brechungswinkel gröfser als der Einfallswinkel.**

5. **Das Gesetz für die Gröfse der Brechung** wurde von **Snellius** 1626 gefunden. Ist in Fig. 287 *o* der Mittelpunkt eines Kreises, der auf einer Scheibe aus Blech gezeichnet ist, so wird der Strahl *no* von einem bei *m* befindlichen Auge in der Richtung *om* gesehen. Fällt man von *m* und *n* auf das Einfallslot die Lote *ma* und *nb*, so findet man stets, welches auch die Lage des Punktes *n* sei, dafs die Lote *ma* und *nb* im Verhältnis 4:3 stehen. Das Verhältnis dieser Lote heifst das Brechungsverhältnis oder der Brechungsexponent. **Wenn man von Punkten, die auf dem einfallenden und dem gebrochenen Strahle gleich weit vom Einfallspunkte entfernt liegen, Senkrechte auf das Einfallslot fällt, so stehen diese Senkrechten für zwei bestimmte optische Mittel bei jedem Einfallswinkel in einem unveränderlichen Verhältnis.** Während das Brechungsverhältnis für den Übergang von Luft zu Wasser 4:3 ist, ist es für den Übergang von Luft zu Glas 3:2; überhaupt ist es beim Übergang von einem dünneren zu einem dichteren Mittel ein Wert, gröfser als eins. Das Brechungsverhältnis regelt auch den Gang des Lichtstrahles aus dem dichteren in das dünnere Mittel, es hat dann den umgekehrten Wert, ist also beim Übergange des Strahles aus Wasser in Luft 3:4, aus Glas in Luft 2:3. Von Luft aus ist das Berechnungsverhältnis für: Wasser 1,334; Alkohol 1,372; Kanadabalsam 1,540; Kronglas 1,533; Flintglas 1,664; Schwefelkohlenstoff 1,680; Diamant 2,470.

§ 144. Die astronomische Strahlenbrechung und die Fata Morgana.

1. **Die astronomische Strahlenbrechung.** Weil die Luftschichten von oben nach der Erdoberfläche zu an Dichte zunehmen, geht jeder von einem Himmelskörper zu uns kommende Lichtstrahl durch Schichten von verschiedener Dichte und mufs, wenn er schräg hindurchgeht, in jeder Schicht eine Brechung erleiden. Da der Strahl *SE* (Fig. 288) in immer dichtere Luftschichten eintritt, wird er bei den Punkten *E*, *E'*, *E''* u. s. f. gegen das Einfallslot hin gebrochen und erhält eine der lotrechten näher kommende Richtung. Daher scheinen uns die Himmelskörper höher zu stehen, als es in Wirklichkeit der Fall ist. Diese astronomische Strahlenbrechung ist am gröfsten in der Nähe des Horizontes und beträgt dort 1/2 Grad; sie nimmt nach oben hin ab und beträgt in halber Himmelshöhe nur noch 1/60, im Zenit null Grad. Wegen derselben sehen wir Sonne und Mond, wenn sie bereits untergegangen sind, und ehe sie aufgehen; bei Mondfinsternissen, wenn die Erde sich in gerader Linie zwischen Sonne und Mond befindet, hat man diese beiden Himmelskörper zugleich über dem Horizont gesehen.

Fig. 288.



2. **Die Fata Morgana.** Auch bei entfernten irdischen Gegenständen tritt die Strahlenbrechung ein und bewirkt zuweilen, dafs Gegenstände gehoben erscheinen und sichtbar werden, die unter dem Horizont liegen. So hat man von England aus die französische Küste gesehen, und so entsteht die Erscheinung der Fata Morgana, indem eine ungewöhnlich starke Strahlenbrechung den Bewohnern von Reggio in Unteritalien Schlösser, Türme und Bäume sichtbar werden läfst, die in Messina stehen.

§ 145. Die vollständige Zurückwerfung und die Luftspiegelung.

1. **Die vollständige Zurückwerfung. Versuche:** a) Fallen im verdunkelten Zimmer Sonnenstrahlen durch eine Öffnung im Fensterladen mittels eines Spiegels *S*

(Fig. 289) auf die Oberfläche von Wasser in einem Glaskasten, so werden sie *zum Teil* nach dem Reflexionsgesetz *zurückgeworfen*, man bemerkt aber, daſs *ein anderer Teil* der Strahlen in das Wasser eintritt und gemäſs dem Brechungsgesetz *gebrochen* wird. Diese Erscheinung ist bei jedem Einfallswinkel zu beobachten. **Satz: Fallen Lichtstrahlen aus einem optisch dünneren Mittel auf die Grenzfläche eines durchsichtigen, optisch dichteren Mittels, so werden sie bei allen Einfallswinkeln zum Teil zurückgeworfen und zum Teil gebrochen.** Weil aber der *Brechungswinkel* im dichteren Mittel stets *kleiner* ist als der *Einfallswinkel* im dünneren, so liegen im dichteren Mittel die in einem Punkte E aus dem dünneren Mittel unter verschiedenen Winkeln eintretenden Strahlen *näher aneinander* (Fig. 291). Mit

Fig. 289.

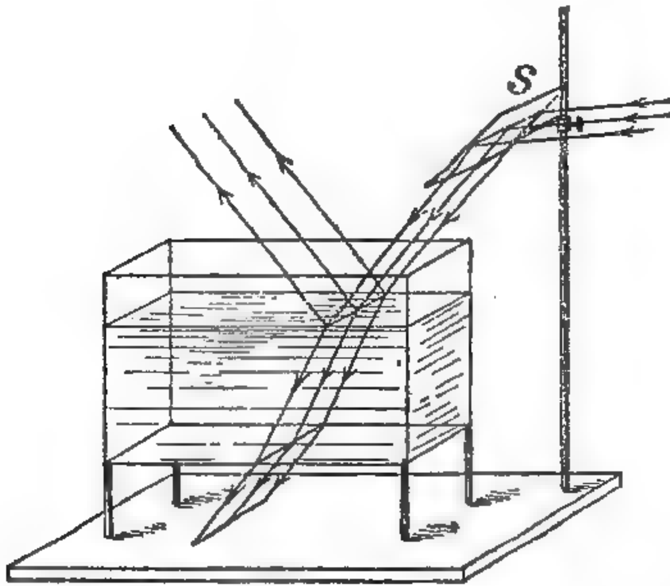
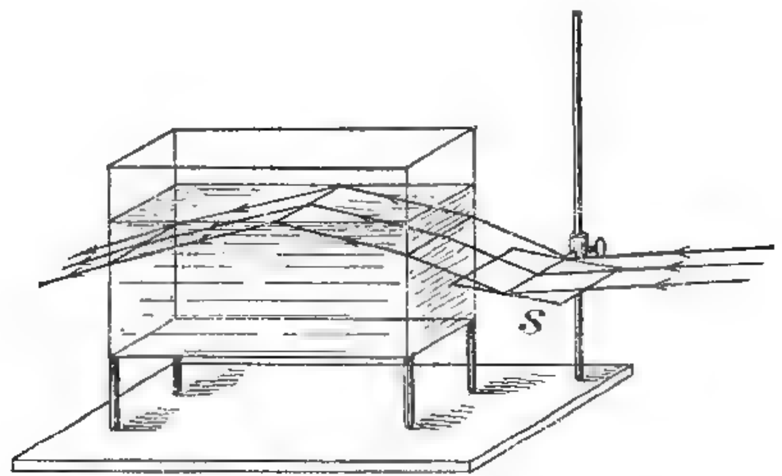


Fig. 290.



dem Einfallswinkel wächst auch der Brechungswinkel, und es muſs für den gröſstmöglichen Einfallswinkel, der ein Rechter ist, der Brechungswinkel im dichteren Winkel seinen gröſsten Wert haben, *kleiner* als ein Rechter; er ist für den Übertritt der Strahlen aus Luft in Wasser $48^1/_2$ Grad. Stellt in Fig. 291 $\angle\, CEB$ den gröſsten Brechungswinkel im dichteren Mittel dar, so kann vom Punkte E her aus dem dünneren Mittel kein Lichtstrahl in den Winkelraum AEB gelangen.

b) Hat der Spiegel S der in Fig. 289 u. 290 dargestellten Vorrichtung eine solche Stellung, daſs die Lichtstrahlen die Wasseroberfläche *im* Wasser (von unten her)

Fig. 291.

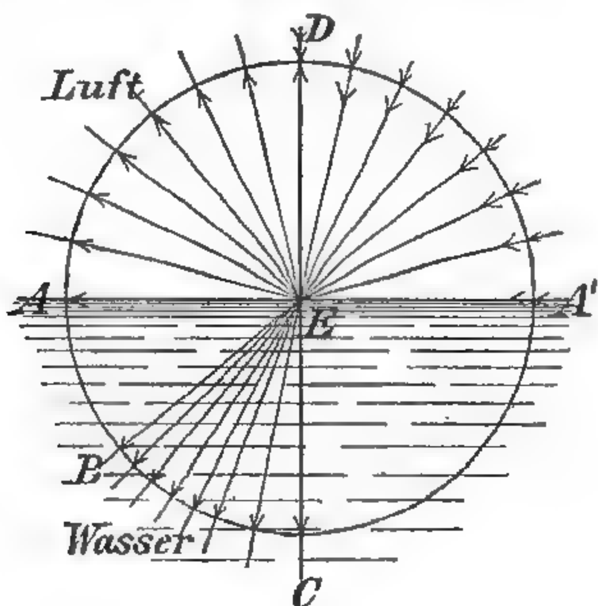
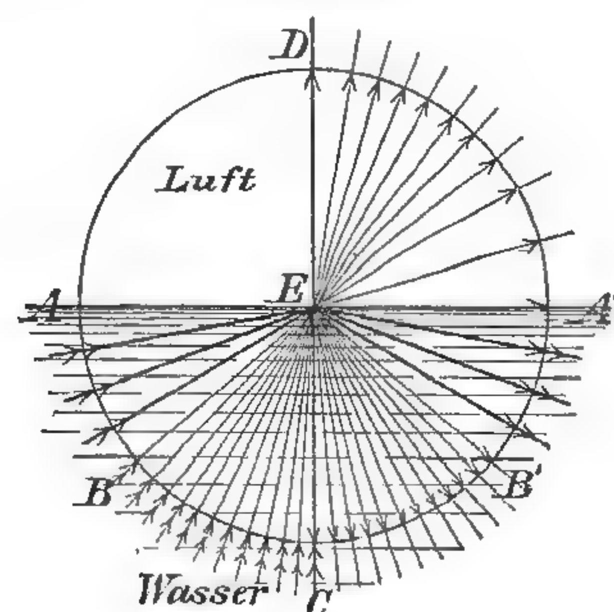


Fig. 292.



unter einem Einfallswinkel, kleiner als $48^1/_2$ Grad, treffen, so wiederholt sich die Erscheinung des vorigen Versuches: *Ein Teil der Lichtstrahlen wird an der Wasseroberfläche in das Wasser zurückgeworfen, ein anderer Teil tritt in die Luft aus und wird, gemäſs dem Brechungsgesetz vom Einfallslote hinweggelenkt* (vergl. Fig. 292).

c) Diese Erscheinung ändert sich, wenn der Spiegel S so gestellt wird, daſs die Lichtstrahlen im Innern des Wassers die Oberfläche unter einem Einfallswinkel treffen, der gröſser als $48^1/_2$ Grad ist (Fig. 290); in diesem Falle *treten keine*

Lichtstrahlen in das dünnere Mittel, die Luft über, sondern sie werden ungeschwächt oder vollständig zurückgeworfen. Es findet **völlige Zurückwerfung** oder **totale Reflexion** statt. Weil nämlich Lichtstrahlen, welche aus dem optisch dichteren Mittel in das optisch dünnere übertreten, in umgekehrter Richtung den gleichen Weg einschlagen, den sie beim Übertritt aus dem dünneren ins dichtere Mittel haben, so können wohl Lichtstrahlen, die innerhalb des Winkels $BEC = 48^1/_2$ Grad im Wasser verlaufend (Fig. 292 vergl. auch Fig. 291) den Punkt E treffen, in die Luft übertreten (sie werden z. T. reflektiert), aber nicht solche Strahlen mit gröſserem Einfallswinkel, also innerhalb des Winkels BEA bei E einfallend. Erstere Strahlen werden nur zum Teil zurückgeworfen, letztere vollständig.

Ein Strahl, dessen Einfallswinkel im Wasser $48^1/_2$ Grad beträgt, hat beim Übergang in die Luft als Brechungswinkel einen Rechten, wird also gleichlaufend mit der Wasserfläche. Wird der Einfallswinkel gröſser als $48^1/_2$ Grad, so müſste der Brechungswinkel gröſser als ein Rechter sein; das ist aber unmöglich. Ein Einfallswinkel im dichteren Mittel, dessen Brechungswinkel im dünneren Mittel ein Rechter ist, heiſst der **Grenzwinkel**; er beträgt für Wasser $48^1/_2$, für Glas 42, für Diamant 24 Grad (nach Luft). **Satz: Lichtstrahlen, welche in einem durchsichtigen Mittel die Grenzfläche gegen ein dünneres, durchsichtiges Mittel unter einem Einfallswinkel treffen, gröſser als der Grenzwinkel, gehen in das dünnere Mittel nicht über, sondern werden vollständig zurückgeworfen. Versuche** zur Anwendung: a) Bringt man auswendig an ein Glas Wasser einen Schlüssel, so wird er von dem lotrecht über dem Glase befindlichen Auge nicht gesehen; die von dem Schlüssel ausgehenden Strahlen bilden mit dem Einfallslote einen Winkel, gröſser als der Grenzwinkel, und können daher oben nicht aus dem Wasser austreten. b) Liegt der Wasserspiegel in einem Glase wenig höher als eine Kerzenflamme L (Fig. 293), so gelangen ebenfalls keine Strahlen von der Flamme durch das Wasser nach oben; aber ein mit der Flamme in wagerechter Linie auf der anderen Seite befindliches Auge A sieht emporschauend ein Bild L' der Flamme, welches sehr hell ist, weil keine Strahlen durch die Wasseroberfläche nach oben in die Luft austreten können, sondern vollständig zurückgeworfen werden. c) In einem Glaswürfel W (Briefbeschwerer) (Fig. 294) erblickt man bei geeigneter Haltung zwei Bilder eines hellen Gegenstandes. Das obere Bild ist lichtschwach, weil die Strahlen, die vom Gegenstand kommen, durch die Fläche AB zum Teil in das Glas eintreten müssen und nur zum Teil zurückgeworfen werden. Das untere Bild ist lichtstark, weil die Strahlen die Fläche CD unter einem Winkel treffen, der

Fig. 293.

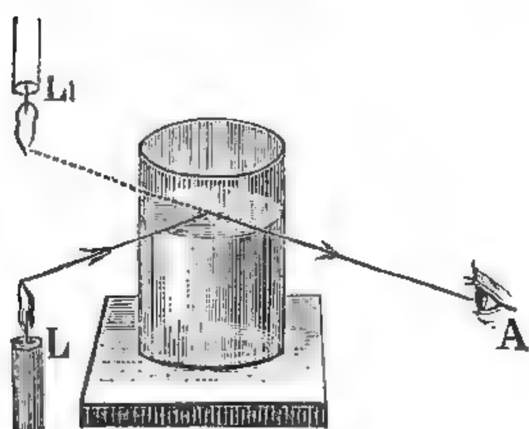


Fig. 294.

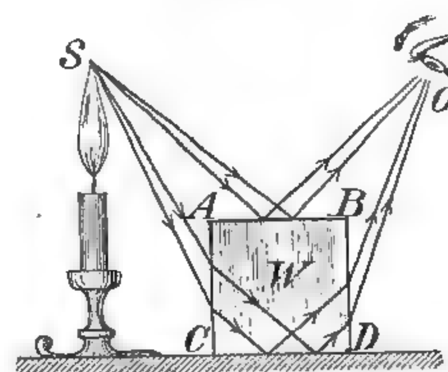
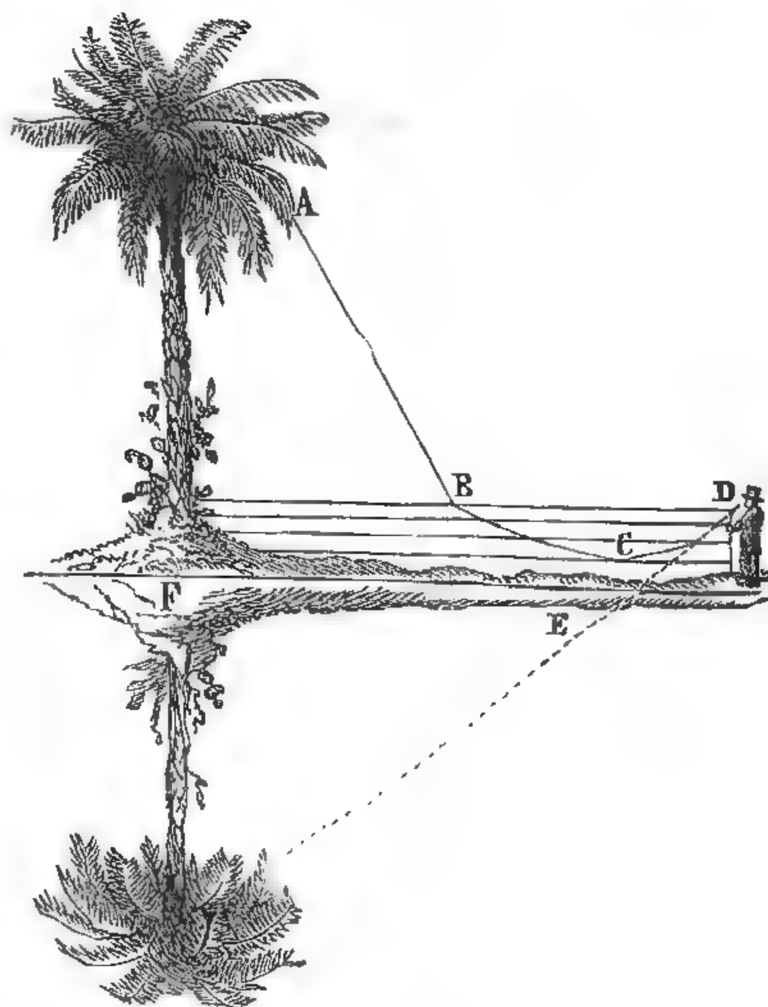


Fig. 295.



größer ist als der Grenzwinkel, so daß sie völlig zurückgeworfen werden und kein Teil derselben aus der Fläche *CD* austreten kann*). Der Schliff der Edelsteine gibt diesen ihren Glanz infolge vollständiger Zurückwerfung.

2. **Die Luftspiegelung** über weiten Landstrecken und über dem Meere ist eine Folge der Brechung und vollständigen Zurückwerfung der Lichtstrahlen durch dünnere Luftschichten. In den großen Ebenen Asiens und Afrikas, wo der Erdboden durch die lotrecht auffallenden Sonnenstrahlen stark erhitzt ist, sind an windstillen Tagen nicht selten die untersten Luftschichten durch die Wärme des Bodens dünner geworden als die höheren. Dann werden die von fernen Gegenständen abwärts gehenden Strahlen so gebrochen, daß sie fast wagerecht auffallen und von der untersten Luftschicht vollständig zurückgespiegelt werden (Fig. 295). Daher erblickt man in der Ferne die Gegenstände selbst und darunter ihr Spiegelbild, verkehrt wie in einem großen See. Über dem Meere nimmt man, wenn die oberen Luftschichten sehr dünn sind, das Spiegelbild über dem Gegenstande wahr.

§ 146. Verschiebung der Strahlen durch planparallele Scheiben.

Versuch: Hält man hinter ein Stück einer planparallelen Glasscheibe einen Bleistift, so erscheint das durch die Scheibe gesehene Stück des Stiftes nach links verschoben, wenn man von rechts her schräg durch die Scheibe nach dem Bleistift blickt (Fig. 296). Die Verschiebung ist nicht vorhanden, wenn man senkrecht durch die Scheibe nach dem Stift sieht, sie ist um so stärker, je schräger die Blickrichtung und je dicker die Scheibe ist. Die Erklärung gibt mit Hilfe der Fig. 297 der Satz: Beim Durchgang durch ebene, überall gleich dicke Glasscheiben sind die austretenden Strahlen parallel mit den einfallenden, weil diese beim Eintritt ebensosehr nach dem Einfallslote hin als jene beim Austritt von ihm hinweggebrochen werden. Es tritt für das Auge eine gleichmäßige Verschiebung aller Gegenstände ein, so daß z. B. ein Auge den Gegenstand *L* in *L'* zu sehen glaubt. Sind die Glasscheiben von geringer Dicke wie unsere Fensterscheiben, so ist diese Verschiebung unbedeutend. Es findet keine Verschiebung statt, wenn die Strahlen lotrecht auf die Scheibe fallen, denn dann ist sowohl der Einfallswinkel α als auch der Brechungswinkel β gleich Null. **Durch Platten mit parallelen Oberflächen gehen die Lichtstrahlen,** welche nicht lotrecht einfallen, **verschoben, aber in unveränderter Richtung hindurch.**

Fig. 296.

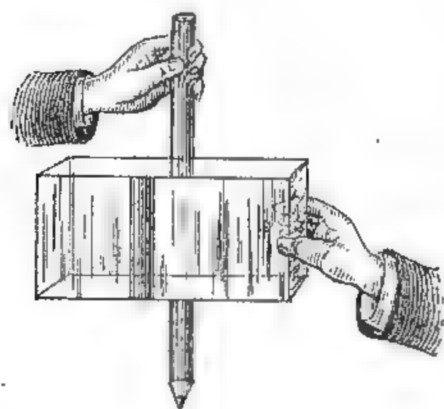
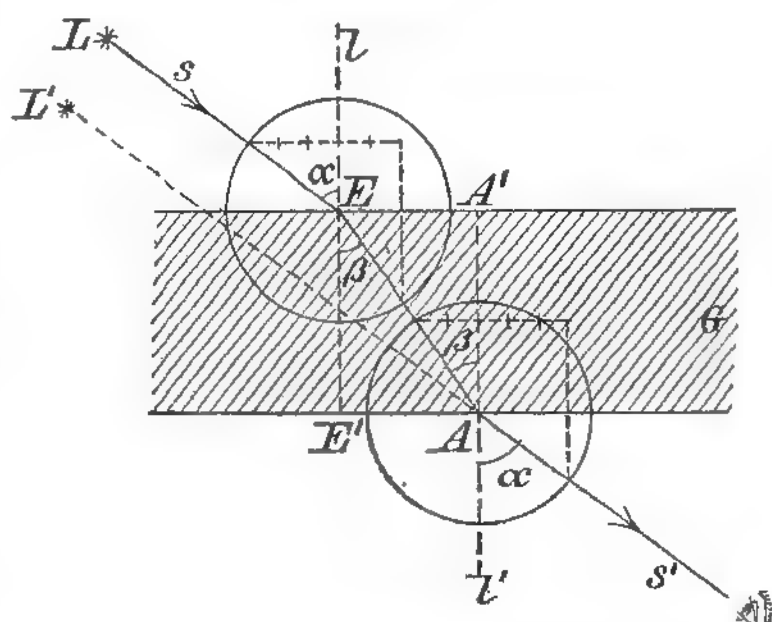


Fig. 297.



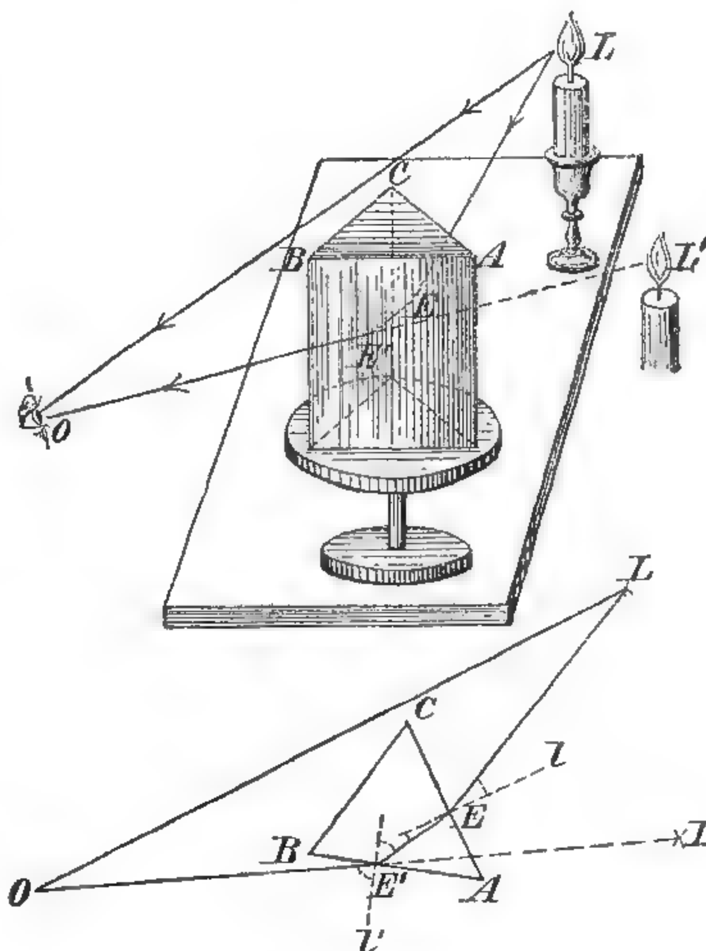
§ 147. Die Brechung durch Prismen.

Stellt man ein durchsichtiges Prisma *ABC* (Fig. 298) lotrecht auf und weiter hinten, etwas zur Seite, eine brennende Kerze, so kann ein Auge *O* die Flamme *L* gleichzeitig zweimal sehen, einmal unmittelbar als L und zweitens

*) Hält man den Würfel unterhalb der Lichtflamme, dieser sehr nahe, ein wenig schief und blickt steil darauf, so sind beide Bilder lichtschwach, weil auch die untere Fläche die Strahlen unter Winkeln empfängt, die kleiner sind als der Grenzwinkel, so daß die Strahlen zum Teil durch die Fläche hindurchgehen und nur zum Teil zurückgeworfen werden. Wegen der Absorption im Glase ist das untere Bild das lichtschwächere.

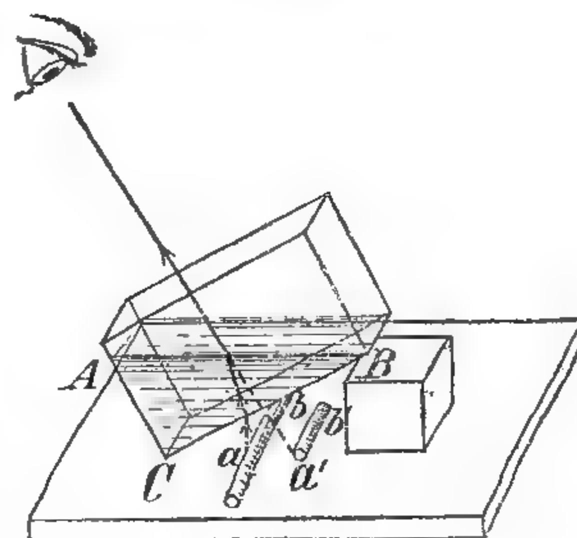
durch Strahlenbrechung vermittelst des Prismas *ABC*. Die Strahlen, welche die Flamme in der Richtung *LE* zum Prisma sendet, werden im Prisma dem Einfallslote *l* zu gebrochen und nehmen die Richtung *EE'* an. Beim Austritt aus dem Prisma werden diese Strahlen vom Einfallslote *l'* weg gebrochen und nehmen die Richtung *E'O* an. Weil das Auge von der Flamme *L* ausgehende Strahlen in der Richtung *E'O* erhält, hat es den Eindruck, als ob sich eine Flamme in der Verlängerung von *OE'* bei *L'* befände. Die Flächen *AC* und *AB*, durch welche die Strahlen in das Prisma ein- und aus ihm austreten, heifsen die brechenden Flächen; sie schliefsen den brechenden Winkel *BAC* ein, dessen Scheitelkante *A* die brechende Kante heifst. Da der Strahl *LE* sowohl im Prisma als auch nach dem Durchgang durch dasselbe von der brechenden Kante *A* hinweg gebrochen wird, gilt der Satz: **Beim Durchgang durch ein Prisma werden die Lichtstrahlen von der brechenden Kante hinweg gebrochen.**

Fig. 298.



Benutzt man zu dem Versuch (Fig. 298) ein gleiches Prisma aus einem stärker brechenden Stoffe, z. B. Schwefelkohlenstoff statt Wasser im Hohlprisma, oder Flintglas statt Kronglas, so erscheint das Bild *L'* der Flamme *L* stärker abgelenkt. Betrachtet man einen Stab durch ein Wasserprisma in einem schiefstehenden Glaskasten (Fig. 299) oder einem schief gehaltenen Glasbecher mit ebenem Boden, so ist die Ablenkung des durch das Wasserprisma gesehenen Stabteiles *a'b'* um so gröfser, je gröfser der brechende Winkel *ABC* des mehr oder weniger schief stehenden Glasbehälters ist. Es gilt der Satz: **Die Ablenkung von der brechenden Kante eines Prismas ist um so gröfser, je stärker das Lichtbrechungsvermögen des Mittels ist, aus dem das Prisma besteht, und je gröfser der brechende Winkel ist.**

Fig. 299.



§ 148. Erhabene Linsen.

Wichtige Erscheinungen der Brechung bewirken Gläser mit kugelförmig gekrümmten Oberflächen, welche nach ihrer Gestalt **Linsengläser oder Linsen** genannt werden. Sind sie in der Mitte dicker als am Rande, und wenigstens auf einer Seite erhaben geschliffen, so heifsen sie **erhabene oder konvexe Linsen.**

Ist eine Linse auf beiden Seiten erhaben, so heifst sie bikonvex; ist sie auf einer Seite plan oder eben und auf der anderen Seite erhaben, so heifst sie plankonvex. Konkavkonvex wird die Linse genannt, wenn sie auf einer Seite konkav oder hohl, auf der anderen Seite aber mit stärkerer Krümmung erhaben geschliffen ist (Fig. 300 a, b, c).

Die Achse einer Linse ist eine gerade Linie, welche man sich durch die Mittelpunkte der beiden Linsenflächen gezogen denkt; sie geht auch durch die Krümmungsmittelpunkte der beiden Kugeln, welchen die Linsenflächen angehören.

1. **Der Gang einzelner Strahlen.** Hält man eine **erhabene Linse** so, dafs die Sonnenstrahlen parallel mit der Achse auffallen (Fig. 301), und fängt die gebrochenen Strahlen nahe hinter der Linse durch ein Blatt Papier auf, so zeigt sich darauf ein blendend heller Kreis, kleiner als die Linse, in welchem durch die Linse die Strahlen

gesammelt werden. Vergröfsert man den Abstand zwischen Linse und Papier, so verkleinert sich der lichte Kreis und wird heller, schliefslich wird er zu einem sehr hellen Punkte; das Papier befindet sich in dem Brennpunkt der Linse und entzündet sich. Die erhabenen Linsen heifsen daher auch Sammellinsen.

I. Die mit der Achse einer erhabenen Linse **parallelen Strahlen** werden so gebrochen, dafs sie auf der anderen Seite der Linse durch den Brennpunkt gehen.

Der Brennpunkt ist der Vereinigungspunkt oder Schnittpunkt der mit der Achse parallelen Strahlen. Entfernt man das Papierblatt über den Brennpunkt hinaus von der Linse, so erscheint wieder eine helle Kreisfläche, ein Zeichen, dafs die durch den Brennpunkt hindurchgehenden Strahlen hinter demselben wieder auseinanderlaufen. An einer auf beiden Seiten gleich stark gekrümmten erhabenen Linse aus Spiegelglas (mit dem Brechungsverhältnis 3:2) liegen die Brennpunkte in den Krümmungsmittelpunkten der Kugelflächen. Der Abstand des Brennpunktes von der Mitte der Linse heifst die Brennweite. Erhabene Linsen werden als Brenngläser angewandt, um in einem Punkt eine bedeutende Wärme zu erregen.

Bringt man in dem Brennpunkt einer erhabenen Linse eine Flamme an (Fig. 302), so treten die gebrochenen Strahlen parallel mit der Achse aus der Linse, und das ganze Glas erscheint von der anderen Seite her glänzend beleuchtet.

Fig. 300.

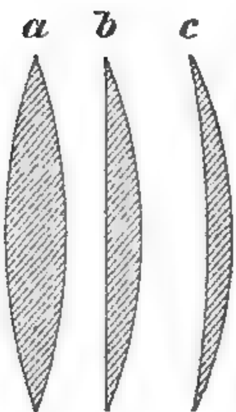


Fig. 301.

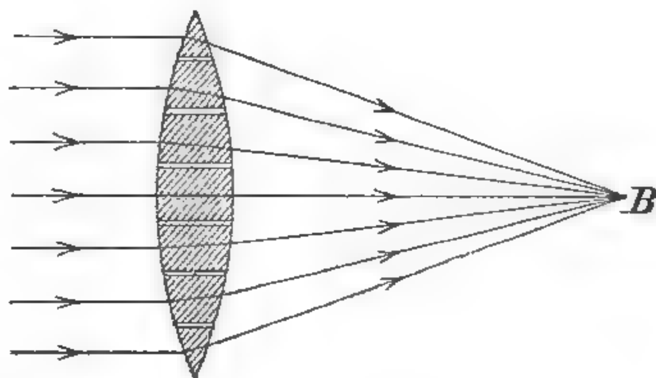
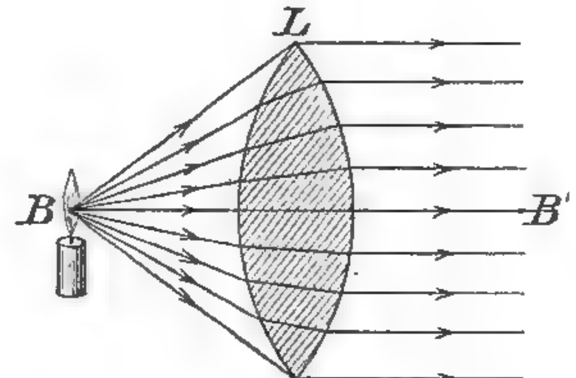


Fig. 302.



II. Die **aus dem Brennpunkt** einer erhabenen Linse kommenden Strahlen werden so gebrochen, dafs sie parallel mit der Achse weitergehen.

Darauf beruht die Anwendung erhabener Linsen als Beleuchtungslinsen, besonders auf den Leuchttürmen.

Dafs sowohl die parallel zur Achse ankommenden als auch die vom Brennpunkt ausgehenden Strahlen durch die Brechung der Achse näher kommen müssen, erhellt, wenn man bedenkt, dafs sich jede Konvexlinse als aus einer Anzahl konzentrischer Ringe bestehend denken läfst, deren Achsenschnitte prismatisch sind (vgl. Fig. 301), so zwar, dafs die einzelnen Prismen ihre brechende Kante von der Achse der Linse abwenden. Sollen die parallel zur Achse ankommenden Strahlen durch die Brechung im Brennpunkt vereinigt werden und umgekehrt die aus dem Brennpunkt kommenden Strahlen nach der Brechung zur Achse parallel laufen, so ist nötig, dafs die Strahlen um so stärker gebrochen werden, je weiter von der Achse entfernt sie die Linse treffen. Die stärkere Brechung dieser Strahlen tritt deshalb ein, weil die brechenden Winkel der als Prismen aufgefafsten Linsenteile um so gröfser sind, je gröfser die Entfernung von der Linsenachse ist.

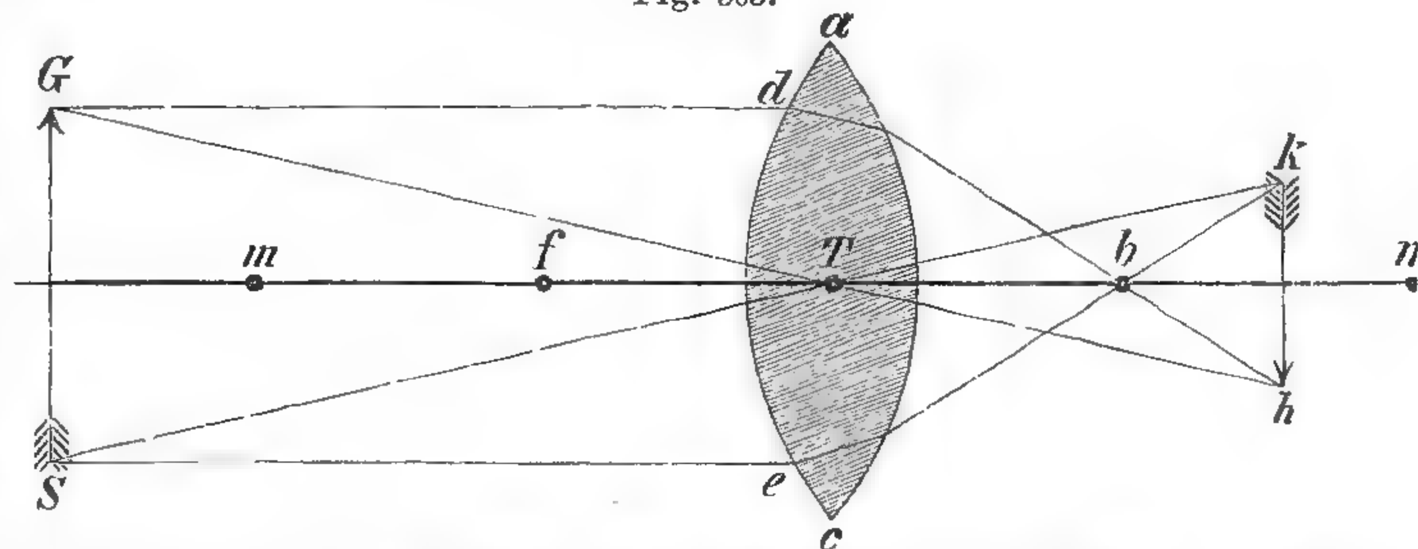
Wenn ferner ein Lichtstrahl (*GTh* Fig. 303) durch die Mitte einer Linse geht, so trifft er Stellen der Linsenflächen, die miteinander parallel sind, und wird

nicht gebrochen. Die durch die Mitte einer Linse gehenden Strahlen heifsen Hauptstrahlen.

III. Die **Hauptstrahlen** gehen ungebrochen durch eine Linse hindurch.

2. **Die durch erhabene Linsen entstehenden Bilder** richten sich ähnlich wie bei den Hohlspiegeln nach der Entfernung der Gegenstände von der Linse. Es gibt **drei Hauptfälle**: Die Entfernung des Gegenstandes kann 1. gröfser als die doppelte Brennweite sein, oder 2. gröfser als die einfache Brennweite, aber kleiner als die doppelte, oder 3. kleiner als die einfache Brennweite.

Fig. 303.



Stellt man zuerst einen hellen Gegenstand (Kerzenflamme) *GS* (Fig. 303) über die doppelte Brennweite von der Linse entfernt auf, so entsteht auf der anderen Seite der Linse ein Bild *hk* des Gegenstandes zwischen der einfachen Brennweite *Tb* und der doppelten Brennweite *Tn*. Das Bild läfst sich auffangen und ist ein wirkliches Bild, weil es durch eine wirkliche Vereinigung der Lichtstrahlen entsteht.

Jeder Punkt des Gegenstandes bildet sich da ab, wo die von ihm ausgehenden Strahlen sich nach der Brechung vereinigen. Der höchste Punkt *G* des Gegenstandes sendet durch die Mitte *T* der Linse den Hauptstrahl *GTh*. Ferner geht von *G* aus ein mit der Achse der Linse paralleler Strahl *Gd*, welcher nach der Brechung die Richtung *bh* hat. Wie der Punkt *G* sich in *h* abbildet, so entsteht ein Bild von *S* in *k*. Das Bild *hk* ist ein umgekehrtes, weil die von den Grenzpunkten *G* und *S* des Gegenstandes ausgehenden Hauptstrahlen *Gh* und *Sk* zwischen Gegenstand und Bild sich kreuzen, und verkleinert. Ist der Gegenstand sehr weit von der Linse entfernt, so ist sein Bild sehr klein und dem Brennpunkt nahe, denn der Hauptstrahl *GT* liegt dann der Achse näher und schneidet daher den durch den Brennpunkt gehenden Strahl *dbh* nahe beim Brennpunkt. Kommt der Gegenstand der Linse näher, so wird sein Bild gröfser und entfernt sich etwas mehr von dem Glase, weil sich der Hauptstrahl *GTh* so um *T* dreht, dafs er sich von der Achse entfernt und den Schnittpunkt *h* weiter von *b* entfernt erzeugt. Ist der Gegenstand um die doppelte Brennweite von der Linse entfernt, so ist sein Bild ebensoweit von der Linse entfernt und ebensogrofs wie der Gegenstand.

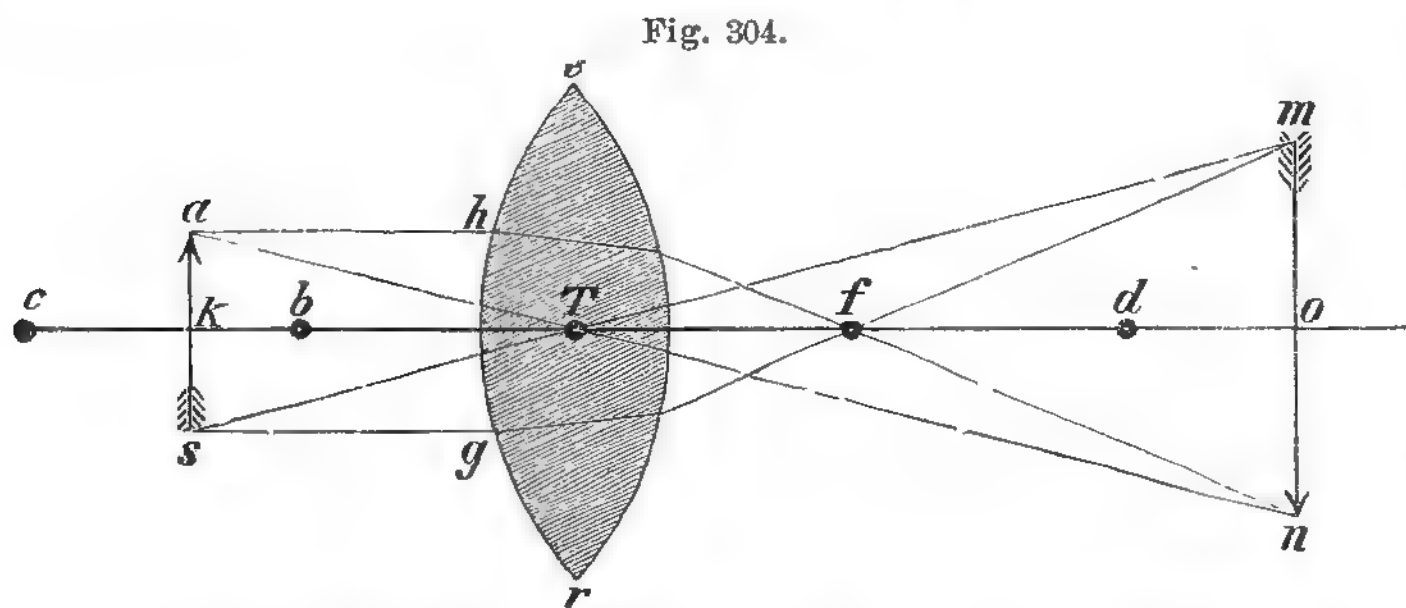
Es gilt der Satz:

I. **Wenn die Entfernung eines Gegenstandes von einer erhabenen Linse gröfser als die doppelte Brennweite ist, so entsteht auf der anderen Seite der Linse, zwischen einfacher und doppelter Brennweite, ein wirkliches, umgekehrtes, verkleinertes Bild.**

Man bringt zweitens den hell beleuchteten Gegenstand *as* der Linse näher (Fig. 304); seine Entfernung von der Linse sei kleiner als ihre doppelte Brennweite *Tc*, und gröfser als die einfache Brennweite *Tb*. Es entsteht auf der anderen Seite der Linse, über die doppelte Brennweite *Td* hinaus entfernt, ein Bild, das sich auffangen läfst. Das Bild *mn* ist ein wirkliches, umgekehrtes und vergröfsertes. Je mehr man den Gegenstand dem Brennpunkt *b* nähert, desto gröfser wird das Bild und desto mehr entfernt es sich von der Linse. Befindet sich der Gegentand im Brennpunkt, so entsteht kein Bild, weil alle Lichtstrahlen nach der Brechung parallel sind, also nirgends eine

Vereinigung zu einem Bilde stattfindet. Man verfolgt in der Zeichnung die Aufeinanderfolge der verschiedenen Bilder an der Drehung eines Hauptstrahles um den Linsenmittelpunkt, während sich der Gegenstand *as* in der Richtung der Achse, parallel zu sich selbst verschiebt.

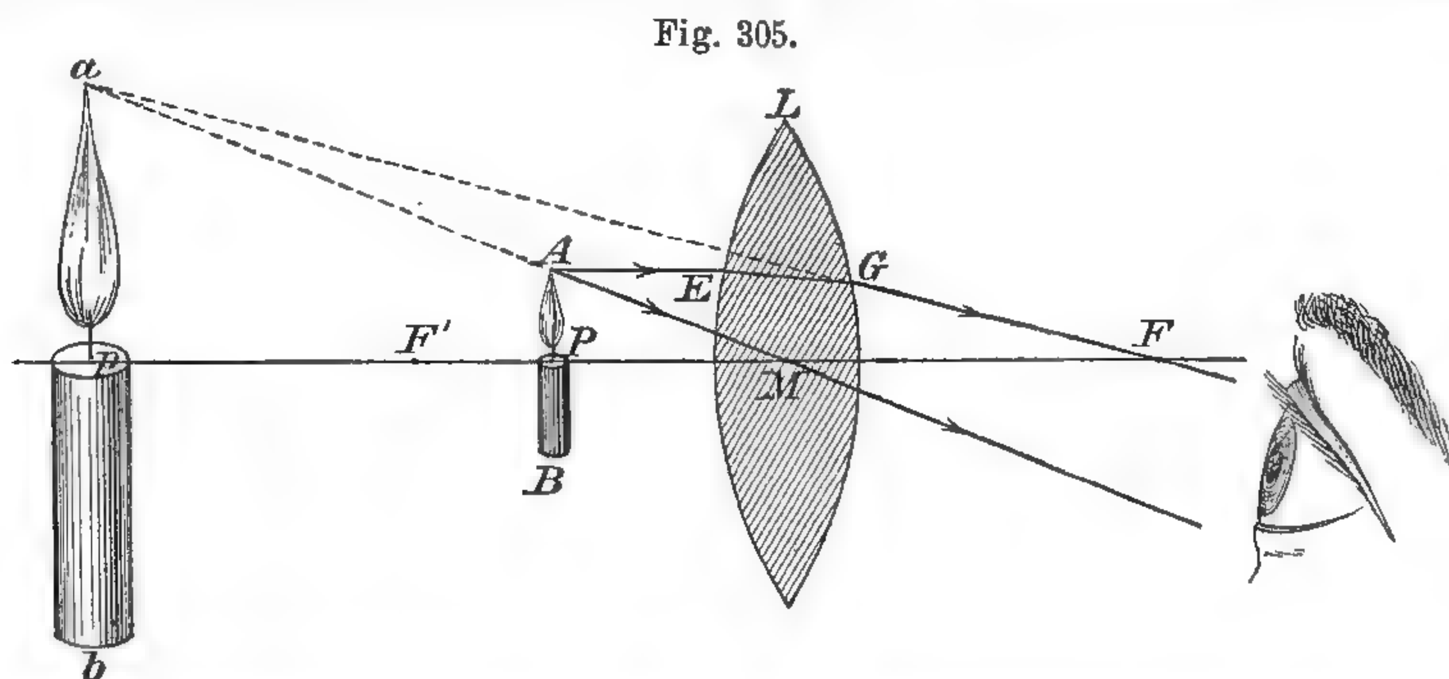
Fig. 304.



II. Wenn die Entfernung eines Gegenstandes von einer erhabenen Linse kleiner als die doppelte Brennweite, und gröfser als die einfache ist, so entsteht auf der anderen Seite der Linse, jenseits der doppelten Brennweite, ein wirkliches, umgekehrtes, vergröfsertes Bild.

Drittens kann die Entfernung eines Gegenstandes von der erhabenen Linse kleiner sein als die einfache Brennweite. Man bringt die Linse *L* einem Gegenstande, der Schrift eines Buches oder einer Kerzenflamme *AB* (Fig. 305) so

Fig. 305.



nahe, dafs derselbe sich zwischen dem Glase und seinem Brennpunkt *F'* befindet. Sieht nun das Auge von der anderen Seite her durch die Linse, so erblickt es ein aufrechtes und vergröfsertes Bild *ab*, das auf derselben Seite der Linse erscheint wie der Gegenstand *AB*, aber in gröfserer Entfernung von der Linse. Das Bild läfst sich nicht auffangen und ist kein wirkliches, sondern ein scheinbares Bild.

Die Spitze *A* der Lichtflamme sendet der Linse einen mit der Achse parallelen Strahl *AE* zu, derselbe wird so gebrochen, dafs er durch den Brennpunkt *F* geht und die Richtung *GF* erhält. Ferner geht von *A* aus der Hauptstrahl *AM* ungebrochen durch die Linse. Einem Auge, welches von den beiden Strahlen *GF* und *AM* getroffen wird, scheint sich die Spitze der Flamme da zu befinden, woher die beiden Strahlen zu kommen scheinen, in dem Durchschnittspunkt *a* ihrer Verlängerungen. Das Bild ist aufrecht, weil die von den Grenzpunkten des Gegenstandes ausgehenden Strahlen sich zwischen Gegenstand und Bild nicht kreuzen, und desto ferner und um so mehr vergröfsert, je näher der Gegenstand dem Brennpunkt ist, weil dann die Verlängerung *Aa* des Hauptstrahls *MA* die Verlängerung des durch den Brennpunkt gebrochenen Strahles *FG* entfernter von der Linse und entfernter von der Achse schneidet.

III. **Wenn die Entfernung eines Gegenstandes von einer erhabenen Linse kleiner als die einfache Brennweite ist, so entsteht auf derselben Seite der Linse, in gröfserer Entfernung von ihr, ein scheinbares, aufrechtes, vergröfsertes Bild.**

Deshalb dient die erhabene Linse, wenn ihr Brennpunkt ihr nahe liegt, als **Vergröfserungsglas** zur Betrachtung kleiner, naher Gegenstände und wird dann auch **Lupe** oder einfaches Mikroskop genannt.

§ 149. Hohllinsen.

Sind Linsen in der Mitte dünner als am Rande, so heifsen sie **Hohllinsen, Zerstreuungslinsen** oder **konkave Linsen.** Man unterscheidet Bikonkavlinsen, Plankonkavlinsen und Konvexkonkavlinsen (Fig. 306). Wenn man auf eine Hohllinse parallel mit ihrer Achse Sonnenstrahlen fallen läfst und nach der Brechung mit einem Blatt Papier auffängt, so bilden sie darauf, indem sie sich ausbreiten, einen hellen Kreis, gröfser als die Linse, in dessen Mitte der Schatten der Hohllinse erscheint; der helle Kreis wird desto gröfser und lichtschwächer, je weiter man das Papier von der Linse entfernt. Die mit der Achse parallelen Strahlen laufen nach der Brechung so auseinander, als kämen sie aus einem Punkt Z der Achse, welcher der Zerstreuungspunkt heifst (Fig. 307).

Fig. 306.

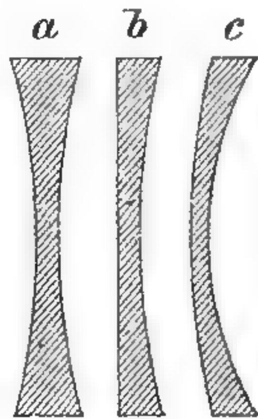
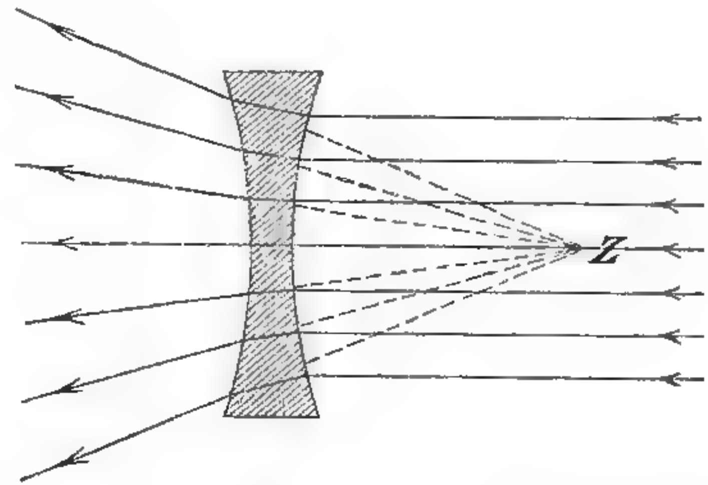
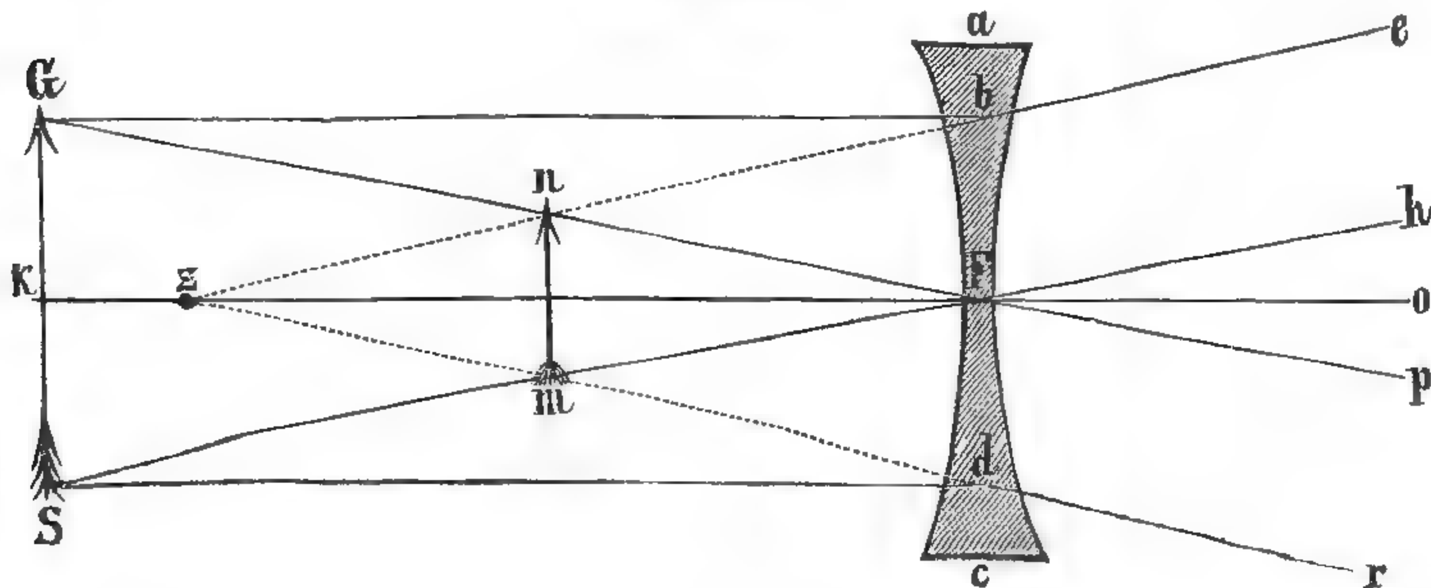


Fig. 307.



Die parallel mit der Achse auf eine Hohllinse fallenden Strahlen werden so gebrochen, dafs sie aus dem Zerstreuungspunkt zu kommen scheinen.

Fig. 308.



Denkt man sich die Hohllinse in bezug auf die Achse in konzentrische Ringe zerlegt, so sind die brechenden Kanten der als Prismen erscheinenden Querschnitte nach der Achse hin gerichtet, und die brechenden Winkel sind um so gröfser, je gröfser die Entfernung von der Achse ist. Daraus erklärt sich erstlich die Ablenkung der gebrochenen Strahlen von der Achse und zweitens die stärkere Ablenkung der Strahlen, welche die Linse weiter entfernt von der Achse treffen.

Bei einer Hohllinse aus gewöhnlichem Glas, deren beide Flächen gleiche Krümmung haben, liegen die Zerstreuungspunkte in den Mittelpunkten der Kugeln, denen die Linsenflächen angehören. Weil die Hohllinsen, gleich den erhabenen Kugelspiegeln, die parallelen Strahlen zerstreuen und keine Vereinigung derselben bewirken, bringen sie auch keine wirklichen Bilder hervor; sondern das hindurchsehende Auge nimmt ein scheinbares Bild nm des Gegenstandes GS wahr (Fig. 308).

Durch eine Hohllinse entstehen scheinbare, aufrechte, verkleinerte Bilder auf derselben Seite wie die Gegenstände, aber näher an der Linse und stets zwischen Linse und Zerstreuungspunkt.

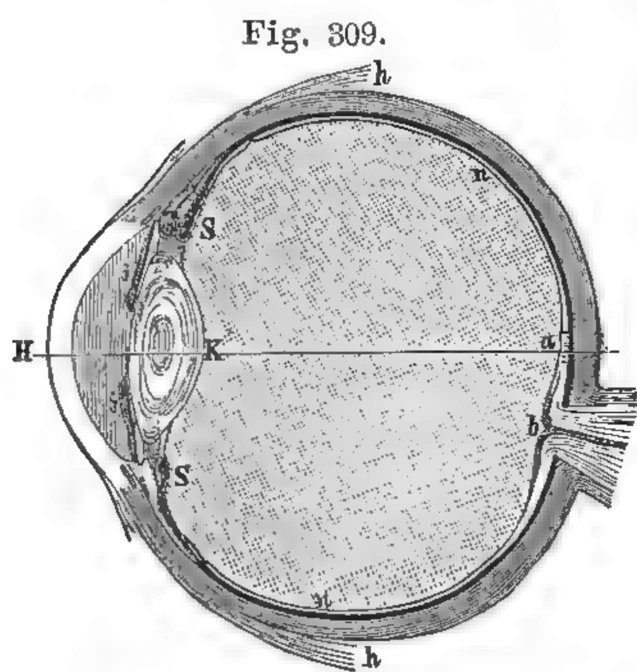
Wird der Gegenstand *GS* in der Achsenrichtung parallel mit sich selbst verschoben, so drehen sich die Hauptstrahlen *GF* und *SF* um die Linsenmitte *F*, während die Richtung der Strahlen *Gbe* und *Sdr* die gleiche bleibt. Entfernt sich der Gegenstand *GS* von der Linse, so wird *nm* kleiner und kommt dem Zerstreuungspunkt *Z* näher, kann ihn aber nie überschreiten. Bei Annäherung von *GS* an die Linse rücken die Schnittpunkte *n* und *m* weiter auseinander, das Bild wird gröſser und kommt der Linse näher.

D. Das Sehen und die optischen Instrumente.

§ 150. Der Bau des Auges, die Brillen und das Stereoskop.

1. **Das menschliche Auge** enthält drei durchsichtige Körper, welche von einer dreifachen Hülle umgeben werden. Die äuſsere Umhüllung *hHh* (Fig. 309) des Augapfels heiſst die weiſse Sehnenhaut; der vordere Teil derselben, die Hornhaut *H*, ist stärker gewölbt und durchsichtig. Unter der Sehnenhaut breitet sich eine zweite Hülle, die Aderhaut, aus, welche viele Blutgefäſse enthält und innen schwarz gefärbt ist; der vordere Teil derselben, die Regenbogenhaut oder Iris *ii*, bildet einen Ring um eine Öffnung, um die Pupille oder das Sehloch, und sieht grau, blau oder braun aus. Als dritte, innerste Hülle liegt unter der Aderhaut die mit sehr vielen Stäbchen und Zapfen sammetartig versehene Netzhaut *nan*, der eigentliche Sitz der Lichtempfindung. Die Stäbchen enthalten einen roten Farbstoff, welcher durch die Lichtstrahlen gebleicht wird. Dicht hinter der Iris befindet sich die Kristalllinse *K*, zwischen Linse und Hornhaut die wässerige Feuchtigkeit und zwischen Linse und Netzhaut die gläserne Feuchtigkeit oder der Glaskörper. Die Lichtstrahlen fallen auf die Hornhaut und werden durch dieselbe gebrochen und einander genähert. Sodann gelangen sie durch die wässerige Feuchtigkeit und die Pupille zur Kristalllinse. Diese wirkt im Vereine mit den beiden Feuchtigkeiten wie eine erhabene Linse, und zwar so, daſs die von einem sichtbaren Punkt ausgehenden Strahlen in einem Punkt der Netzhaut sich vereinigen. Durch die durchsichtigen Bestandteile des Auges, vornehmlich durch die Kristalllinse, entstehen kleine, umgekehrte Bilder der Gegenstände auf der Netzhaut.

Fig. 309.



Obwohl die Lichtstrahlen sich im Auge kreuzen, und die Bilder umgekehrt sind, sehen wir jeden Punkt in der Richtung des von ihm aus durch die Kristalllinse gehenden Hauptstrahls; wir verfolgen einen Hauptstrahl, welcher die Netzhaut nach unten zu trifft, durch den Kreuzungspunkt der Strahlen hindurch, finden den leuchtenden Punkt oben und sehen daher die Gegenstände **aufrecht**; auch wissen wir es durch die Bewegungsempfindung, daſs wir das Auge nach oben bewegen, um den oberen Teil eines Gegenstandes zu sehen. Ferner sehen wir die Dinge mit beiden Augen einfach, weil korrespondierende oder ähnlich gelegene Stellen in beiden Augen, wie die Mitte der Netzhaut oder gleich weit davon nach rechts oder nach links liegende Stellen, so zusammenwirken, daſs uns jedesmal nur ein einziger Lichteindruck zum Bewuſstsein kommt. Wir sehen doppelt, wenn wir einen Augapfel ein wenig verschieben.

2. **Akkommodationsvermögen des Auges, Weitsichtigkeit und Kurzsichtigkeit.** Die durch eine erhabene Linse hervorgebrachten Bilder von Gegenständen, die um mehr als die doppelte Brennweite von der Linse entfernt sind, erscheinen auf der anderen Seite derselben (§ 148, 2) in verschiedenen Entfernungen, weiter von ihr

entfernt, wenn der Gegenstand nahe ist, und der Linse näher, wenn der Gegenstand weiter entfernt ist. Daher würden, wenn die Kristalllinse im Auge unveränderlich wie eine Glaslinse wäre, die von ihr zwischen einfacher und doppelter Brennweite entworfenen Bilder von nahen Gegenständen hinter die Netzhaut, von entfernten Gegenständen vor die Netzhaut fallen, während ein deutliches Sehen nur durch ein scharfes, genau auf die Netzhaut fallendes Bild möglich wird. Allein jedes gesunde Auge benutzt das **Akkommodationsvermögen**, das Vermögen, die Gestalt seiner Linse zu ändern und sich dadurch der Entfernung der Gegenstände anzupassen. Bei Betrachtung naher Gegenstände wölbt sich die Kristalllinse mehr, bricht die Lichtstrahlen stärker und vereinigt sie zu einem Bilde in der richtigen, nicht zu grofsen Entfernung auf der Netzhaut. Bei Betrachtung ferner Gegenstände dagegen ist die Kristalllinse weniger gewölbt, bricht die Lichtstrahlen schwächer und vereinigt sie wieder in der richtigen, nicht zu kleinen Entfernung zu einem Bilde, das auf die Netzhaut fällt.

Mit dem Alter oder durch Gewöhnung kann das Auge sein Akkommodationsvermögen verlieren. Das Auge ist weitsichtig geworden, wenn es nur weiter

Fig. 310.

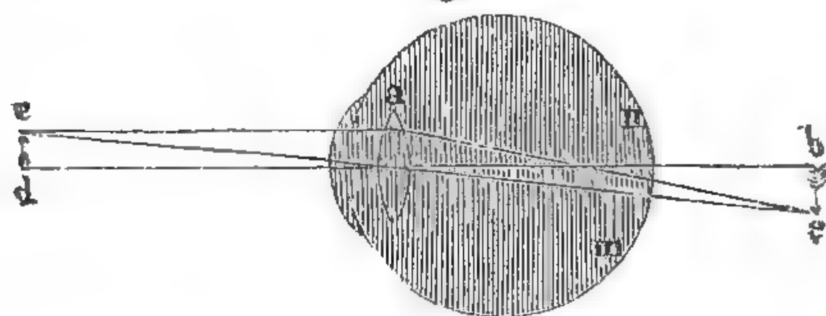
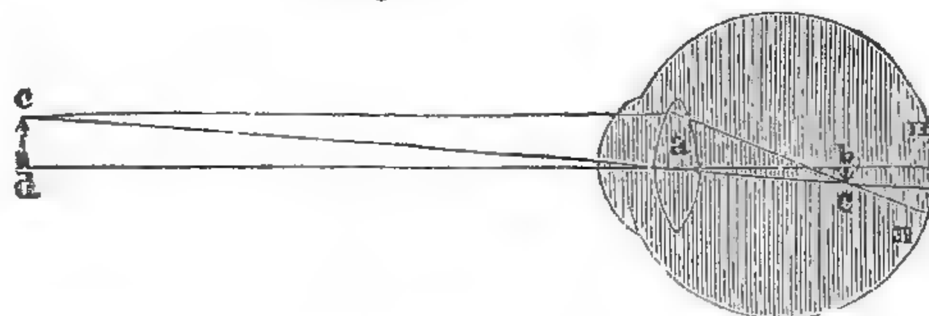
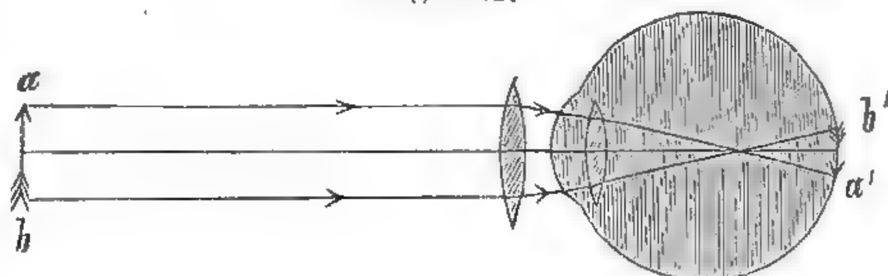


Fig. 311.



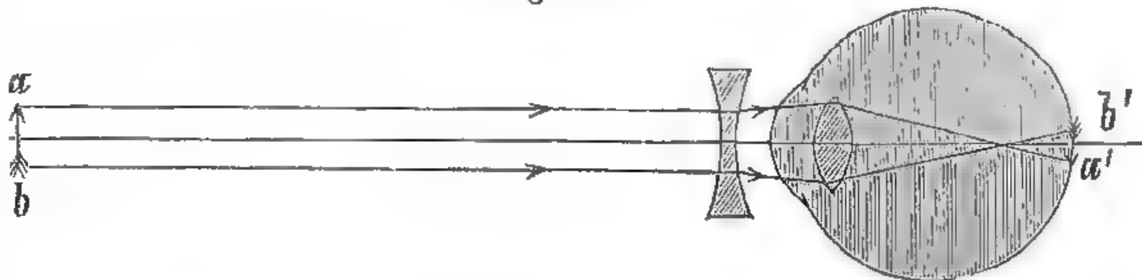
entfernte Gegenstände deutlich sieht, kleine Schrift z. B. nur, wenn sie über die deutliche Sehweite hinaus, welche für kleine Gegenstände 20 bis 25 cm beträgt, vom Auge entfernt gehalten wird. Gleich einer nicht stark genug gewölbten Linse bricht das **weitsichtige** Auge (Fig. 310) die Lichtstrahlen nicht stark genug und würde die von einem nahen Gegenstande *cd* kommenden Strahlen erst hinter der Netzhaut *nm* zu einem Bilde *be* vereinigen. Ein **kurzsichtiges** Auge dagegen wirkt wie eine zu stark gewölbte Linse, bricht die Lichtstrahlen zu stark und vereinigt die von einem entfernten Gegenstande *cd* (Fig. 311) kommenden Strahlen schon vor der Netzhaut *nm* zu einem Bilde.

Fig. 312.



3. **Die Brillen.** Durch als Brillen benutzte erhabene Linsen werden Lichtstrahlen, die zum Auge kommen, einander genähert, bevor sie das Auge treffen (Fig. 312), so dafs eine schwach gekrümmte Kristalllinse genügt, um die schon vorher einander genäherten Strahlen auf der Netzhaut zu einem Bilde *a'b'* zu vereinigen, welches ohne die erhabene Linse erst hinter der Netzhaut entstehen würde. Deshalb sind erhabene Brillengläser für Weitsichtige passend. Umgekehrt werden durch Hohllinsen vor den Augen die Lichtstrahlen voneinander entfernt, bevor sie das Auge treffen (Fig. 313), so dafs zu ihrer Vereinigung auf der Netzhaut die dauernd zu stark gekrümmte Linse des Kurzsichtigen kein Hindernis mehr bildet; darum sind Hohllinsen passende Brillengläser für Kurzsichtige. Nach dem Grade der Weitsichtigkeit

Fig. 313.



oder Kurzsichtigkeit mufs das Brillenglas eine geringere oder stärkere Wölbung oder Vertiefung haben, damit die Bilder der Gegenstände genau auf die Netzhaut fallen.

4. **Die Dauer des Lichteindrucks.** Der durch das Licht auf die Netzhaut gemachte Eindruck hört nicht augenblicklich auf, sondern **der Lichteindruck dauert einige Zeit, etwa zwei bis drei Zehntelsekunden, fort.** Durch eine schnell umgedrehte Kreisscheibe, aus welcher der fünfte Teil ausgeschnitten ist, hindurchsehend, kann man die Schrift eines Buches lesen. Folgt auf einen Lichteindruck schnell ein zweiter, so fließen für das Auge beide in eine einzige Wahrnehmung zusammen. Wir sehen den ganzen Weg einer schnell bewegten glühenden Kohle und den des Blitzes beleuchtet. **Das Thaumatrop** ist eine Kreisscheibe von 8 cm im Durchmesser, die sich mittels zweier Fäden schnell drehen läfst und auf jeder Kreisfläche mit einer Zeichnung versehen ist; eine lotrechte Linie auf der einen und eine wagerechte auf der anderen Fläche verschmelzen bei schneller Umdrehung zu einem Kreuz. **Die Zoëtrope oder Wundertrommel** (Fig. 314) ist ein oben offener, ringsum in gleichen Abständen mit Spalten versehener Zylinder aus Pappe, der sich um eine lotrechte Achse drehen läfst. Unter den Spalten werden in dem Zylinder Abbildungen aufgestellt, die denselben Gegenstand in verschiedenen Lagen darstellen; für ein durch die Spalten sehendes Auge gehen die Gegenstände bei Umdrehung des Zylinders aus einer Stellung in die andere über und scheinen sich zu bewegen. Ähnliche Erscheinungen werden auch hervorgebracht durch das Stroboskop, das Mutoskop und den Kinematographen.

5. Dafs das, was wir sehen, ein Körper und nicht eine Fläche ist, erkennen wir erstlich an der Verteilung von Licht und Schatten, zweitens daran, dafs die beiden Bilder desselben Körpers in beiden Augen etwas voneinander verschieden sind. Wie zwei Zeichnungen eines Körpers, die von verschiedenen Standpunkten aus entworfen sind, verschieden ausfallen, so erscheint dem linken Auge die rechte Seitenfläche eines nahen Würfels schmäler, als wenn sie allein vom rechten Auge betrachtet wird. Entwirft man nun von einem Körper zwei Zeichnungen, die ihn so darstellen, wie er dem linken Auge, und wie er dem rechten Auge allein erscheint, und betrachtet man beide Bilder so, dafs die einander entsprechenden Teile sich decken, so täuscht man sich und meint, einen Körper zu sehen. Dazu, durch zwei Bilder denselben Eindruck hervorzurufen, als ob wir den abgebildeten Körper selbst sähen, dient **das Stereoskop** (d. h. Körperseher). (Fig. 315.) In einen innen geschwärzten Kasten, der des Lichtzutritts wegen auf einer Seite offen ist, lassen sich Bilder einschieben. Die zwei stereoskopischen Bilder stellen den Gegenstand so dar, wie er jedem Auge einzeln erscheint. Jedes Auge A_1, A_2 sieht das für dasselbe bestimmte Bild b_1, b_2 durch eine Hälfte einer längs eines Durchmessers durchschnittenen erhabenen Linse, welche Hälften so eingesetzt sind, dafs ihre scharfen Seiten einander gegenüberstehen. Diese Linsenhälften vergröfsern das Bild etwas und lenken jeden zur Linken befindlichen Strahl s_1 etwas nach links, jeden zur Rechten befindlichen Strahl s_2 etwas nach rechts ab, so dafs die Augen den Eindruck erhalten, als kämen die Strahlen s_1, s_2 von dem gemeinsamen Punkt B her, der weiter hinten liegt. Die Augen erhalten durch die beiden Bilder den Eindruck, den ein etwas weiter entfernter Körper auf sie machen würde.

Fig. 314.

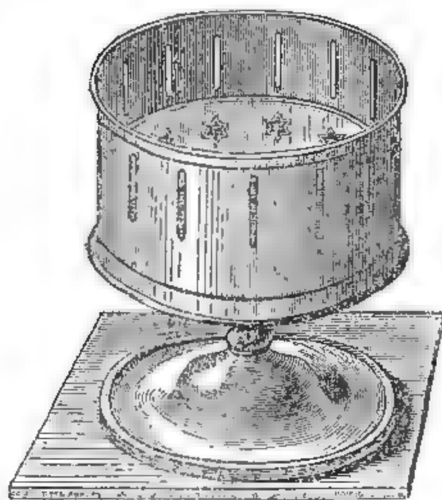
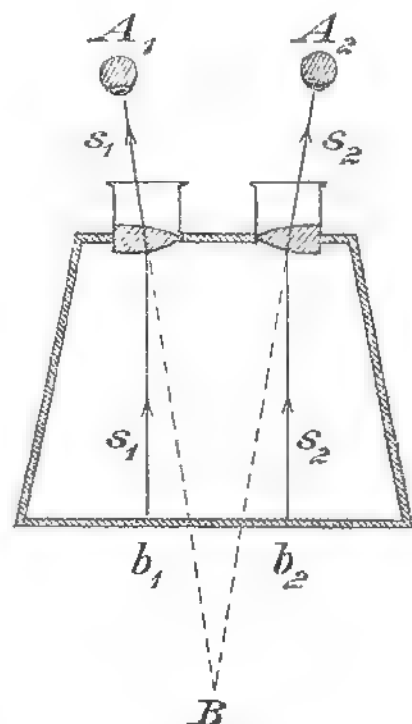


Fig. 315.



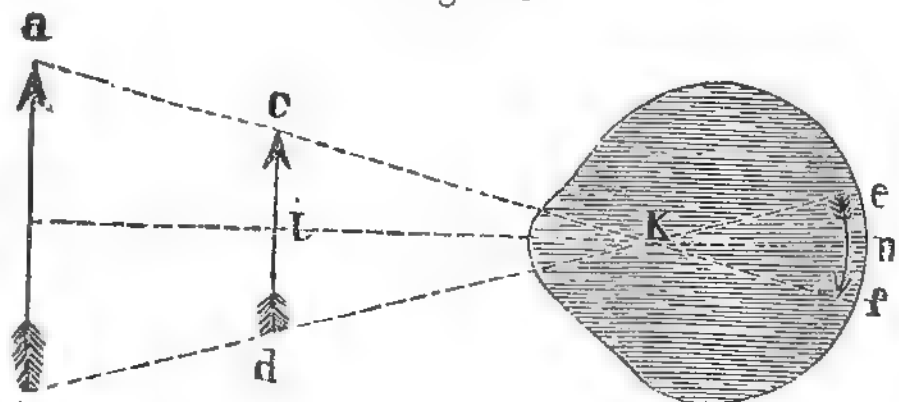
§ 151. Der Sehwinkel und optische Täuschungen.

1. Von allen Punkten eines beleuchteten Gegenstandes, daher auch von seinen Grenzpunkten oben und unten, auf der rechten und linken Seite, gehen Strahlen aus. Der Winkel *ckd* (Fig. 316), welchen die von zwei gegenüberliegenden Grenzpunkten eines Gegenstandes zu uns gelangenden Strahlen *ck* und *dk* in dem Auge bilden, heifst der **Sehwinkel oder die scheinbare Gröfse des Gegenstandes. Gröfsere Gegenstände erscheinen bei gleicher Entfernung unter gröfseren Sehwinkeln als kleinere Gegenstände**; in ge-

wohnter oder bekannter Entfernung beurteilen wir daher die Gröſse eines Gegenstandes nach der Gröſse seines Sehwinkels.

2. Je entfernter ein Gegenstand ist, desto kleiner ist sein Sehwinkel, und desto kleiner sieht er aus. Ein groſser, aber entfernter Gegenstand hat mit einem kleinen, aber nahen denselben Sehwinkel und kann uns durch ihn verdeckt werden. Der Zwischenraum zwischen den entferntesten Bäumen einer Allee oder den letzten Häusern einer Straſse erscheint uns kleiner, so daſs die beiden Reihen von Bäumen oder Häusern in der Ferne sich einander zu nähern scheinen. **Wird der Sehwinkel allzu klein, so wird der Gegenstand nicht mehr gesehen.** Darum sieht man in gröſserer Entfernung nicht mehr die einzelnen Teile eines Hauses; es verschwinden für uns die Zwischenräume zwischen den Bäumen eines fernen Waldes, und wir sehen nie den Stundenzeiger einer Uhr sich bewegen.

Fig. 316.



3. Weil groſse und kleine Gegenstände in verschiedener Entfernung unter demselben Sehwinkel erscheinen, läſst sich aus dem Sehwinkel nur dann die Gröſse der Gegenstände richtig beurteilen, wenn wir ihre Entfernung kennen. Bei Beurteilung der Entfernung aber achten wir 1. auf die zwischen uns und dem Gegenstand befindlichen Dinge, 2. auf die Helligkeit und Deutlichkeit des Gegenstandes; wir halten ihn für desto näher, je weniger Gegenstände wir in dem Raume zwischen ihm und uns wahrnehmen, und je heller er erscheint. Aus falscher Beurteilung der Entfernung entsteht eine falsche Beurteilung der Gröſse; daraus erklären sich die irrigen Meinungen über Gesehenes, die man **optische Täuschungen** nennt. So erscheinen uns Sonne und Mond bei ihrem Aufgang und Untergang ferner und gröſser als in der Himmelshöhe, weil die Schichten der unteren Atmosphäre ihr Licht schwächen, und viele Gegenstände die Horizontalebene bis zu ihnen hin erfüllen; das Himmelsgewölbe erscheint uns etwas herabgedrückt, weil die über uns befindlichen Luftschichten durchsichtiger und heller sind als die am Horizont; wir schätzen alle Höhen zu niedrig und halten das Zifferblatt an einem Turme für zu klein

§ 152. Das zusammengesetzte Mikroskop.

Das zusammengesetzte Mikroskop dient dazu, äuſserst kleine, uns nahe Gegenstände deutlich sichtbar zu machen und ist 1590 durch den Brillenmacher Zacharias Jansen in Holland erfunden worden. In seiner einfachsten Gestalt besteht es aus zwei erhabenen Linsen, von denen die dem Gegenstande oder Objekt zugewandte die Objektivlinse oder das Objektiv heiſst, und die andere, durch welche das Auge hindurchsieht, das Okular genannt wird (Fig. 317).

Durch das stark gewölbte Objektiv des zusammengesetzten Mikroskops entsteht ein wirkliches, umgekehrtes, stark vergröſsertes Bild *ab* des kleinen Gegenstandes *AB*, und dies Bild wird für das Auge durch das Okular, welches als Lupe wirkt, vergröſsert, so daſs es als *a'b'* gesehen wird.

Gewöhnlich sind beide Gläser in einer Röhre *K* (Fig. 318) befestigt, die lotrecht aufgestellt wird. An dem unteren Ende befindet sich das Objektiv und unter ihm, zwischen einfacher und doppelter Brennweite, der durchscheinende Gegenstand *AB*, der durch einen darunter angebrachten Hohlspiegel *S* mehr Licht erhält; das durch das Objektiv entstehende Bild *ab* liegt auſserhalb der doppelten Brenn-

weite des Objektivs, aber innerhalb der Brennweite des Okulars. Häufig enthält das Mikroskop noch ein zweites Okular, wodurch das Bild an Schärfe gewinnt. Es bewirken zusammengesetzte Mikroskope eine hundertfache bis fünfhundertfache Linearvergröfserung, und sie haben zur Entdeckung der Infusionstierchen, Trichinen und Bazillen und zu wichtigen Aufschlüssen über den Bau der Pflanzen und Tiere geführt. Siedentopf und Zsigmondy haben neuerdings Mikroskope bauen gelehrt, bei denen durch Sammellinsen mittels Sonnenlichtes oder elektrischen Lichtes das beobachtete Objekt von der Seite her so gut beleuchtet wird, dafs getrennte Teilchen von 0,000 001 mm Gröfse (ultramikroskopische Teilchen) noch wahrnehmbar sind.

Fig. 317.

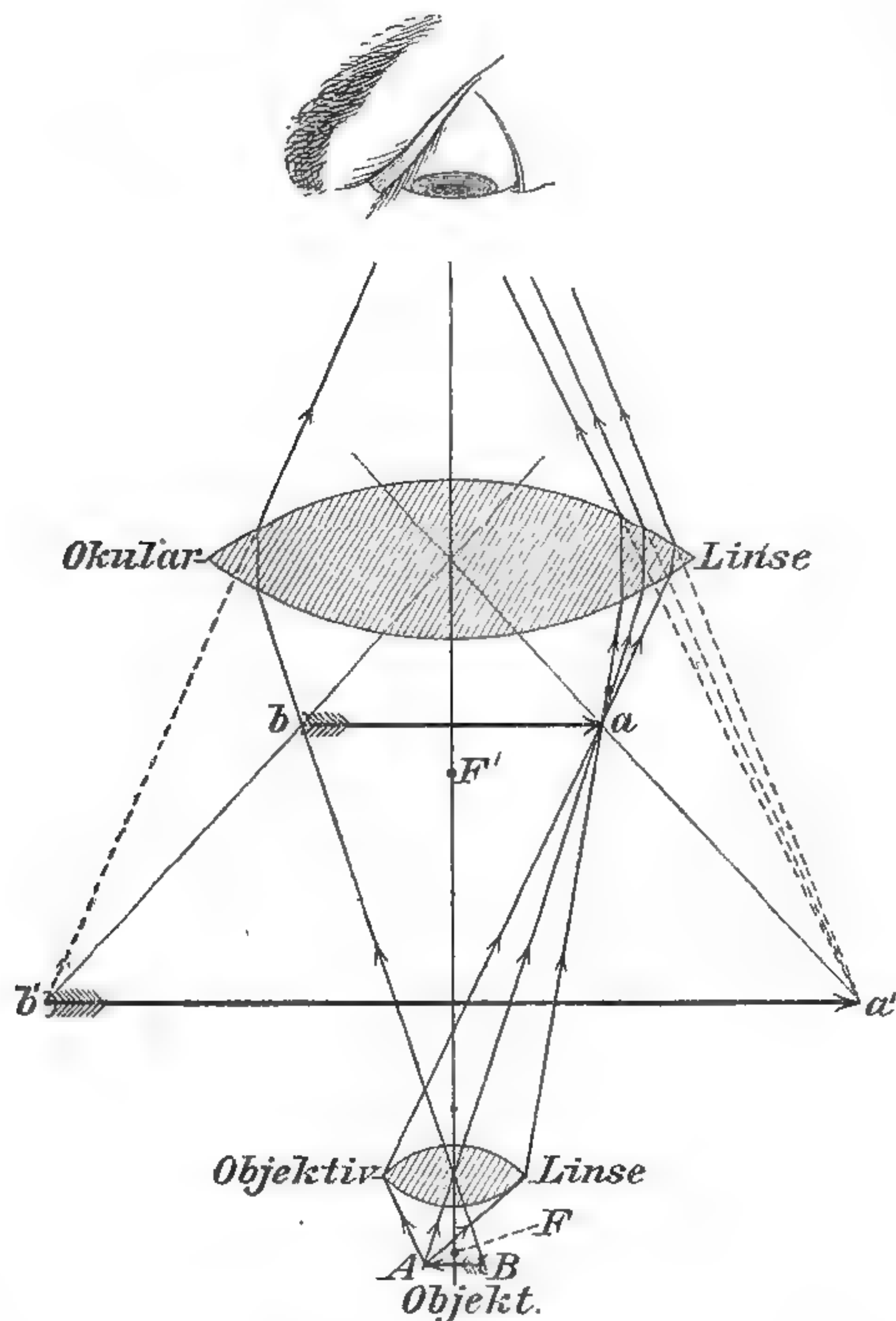
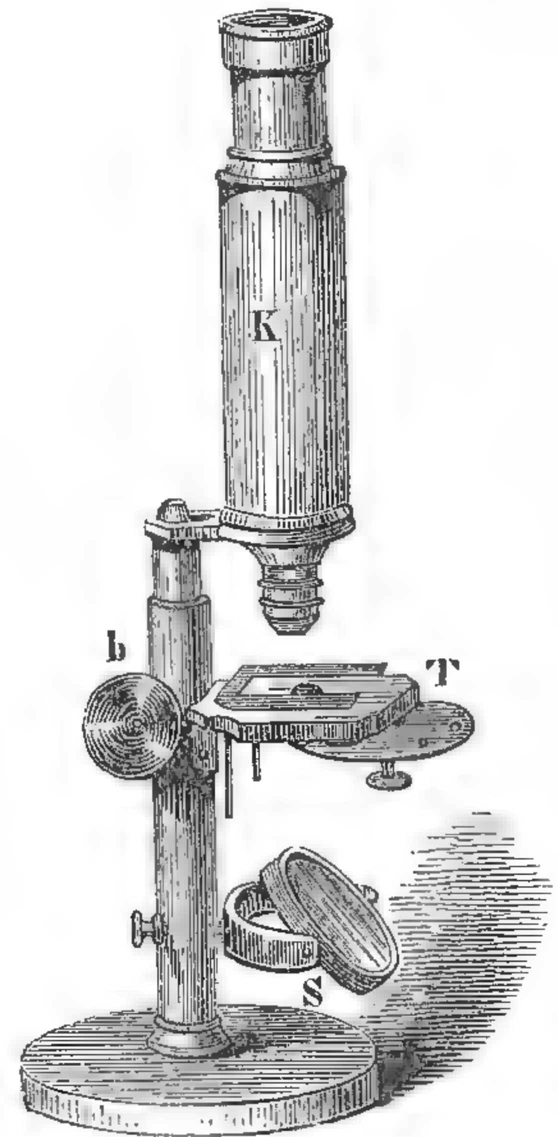


Fig. 318.



§ 153. Die Fernrohre.

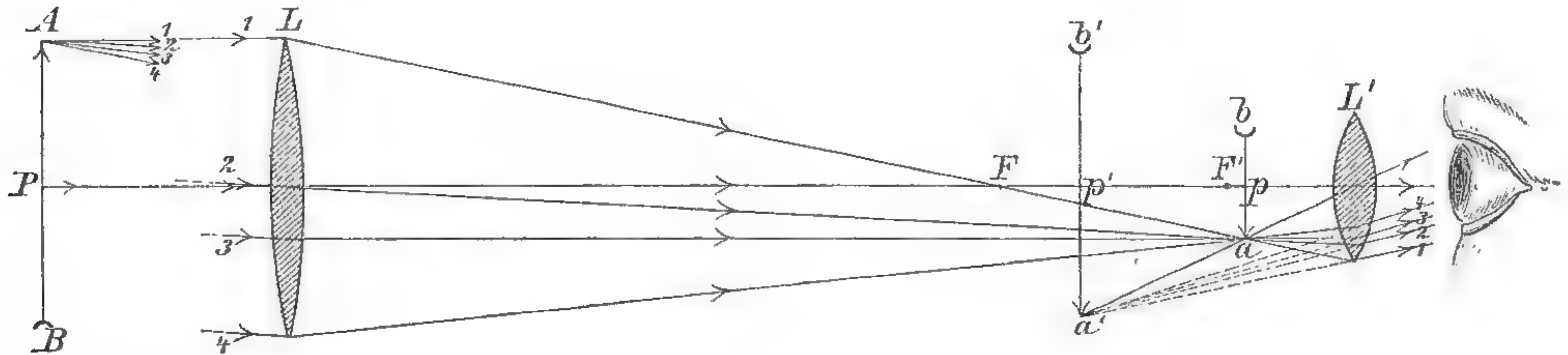
Die **Fernrohre oder Teleskope** sind den Astronomen, Seefahrern und Feldherren unentbehrlich geworden. In den Fernrohren wird durch eine grofse erhabene Objektivlinse oder einen Hohlspiegel ein reelles, aber verkleinertes Bild des fernen Gegenstandes entworfen, und dies Bild wird für das Auge durch die Okularlinse oder das Okular, welches gewöhnlich als Lupe wirkt, vergröfsert. Es gibt zwei Klassen von Teleskopen, solche mit Objektivlinsen, welche Linsenfernrohre oder Refraktoren heifsen, und solche mit Hohlspiegeln, welche Spiegelteleskope oder Reflektoren genannt werden.

I. Linsenfernrohre oder Refraktoren.

1. **Das astronomische** oder **Keplersche Fernrohr** (Fig. 319) (erfunden 1611 von dem Astronomen Kepler), besteht aus zwei erhabenen Linsen, einer Objektivlinse L und einer Okularlinse L'. Durch das grofse, wenig gewölbte Objektiv, das eine grofse Brennweite hat, entsteht von einem Körper AB (oder

einem Stern), weil er sich aufserhalb der doppelten Brennweite befindet, ein wirkliches, umgekehrtes, verkleinertes Bild *ba* zwischen dem Okular und dessen Brennpunkte F'; dies umgekehrte Bild liegt innerhalb der Brennweite des Okulars, wird durch dasselbe wie durch eine Lupe betrachtet und erscheint daher

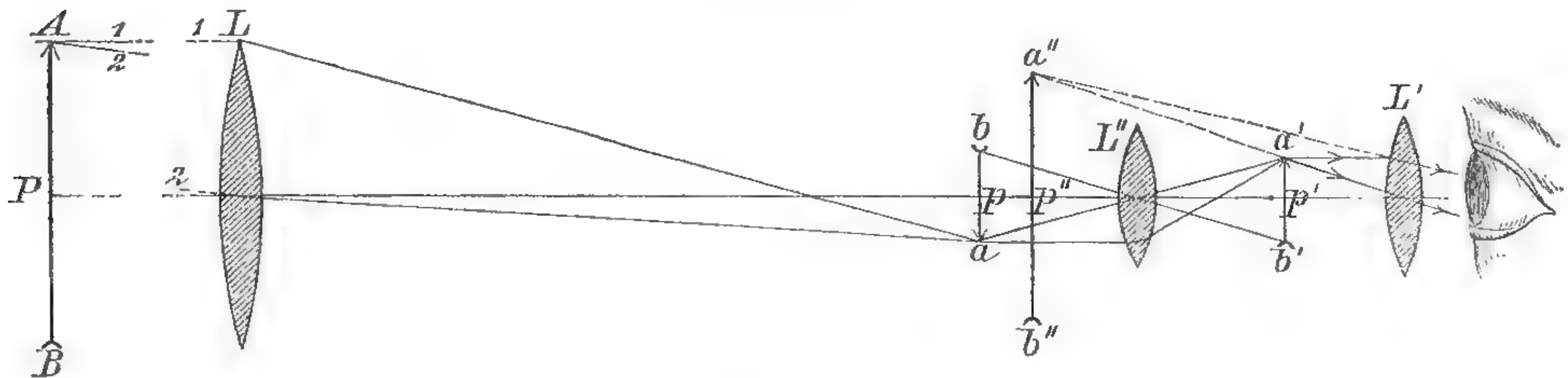
Fig. 319.



durch das Okular als scheinbares Bild vergröfsert und in umgekehrter Lage als *b'a'*. (In der Fig. 319 sind zur Erzielung einer klaren Zeichnung die Brennpunkte F und F' des Objektivs und Okulars, die in Wirklichkeit beim Keplerschen Fernrohr zusammenfallen, ein wenig auseinandergerückt.)

2. **Das Erdfernrohr**, welches der Mönch Schyrl 1645 erfunden hat, besteht aus einem erhabenen Objektiv und zwei erhabenen Okularlinsen. Das Objektiv L (Fig. 320) entwirft von einem fernen irdischen Gegenstande AB ein wirkliches,

Fig. 320.



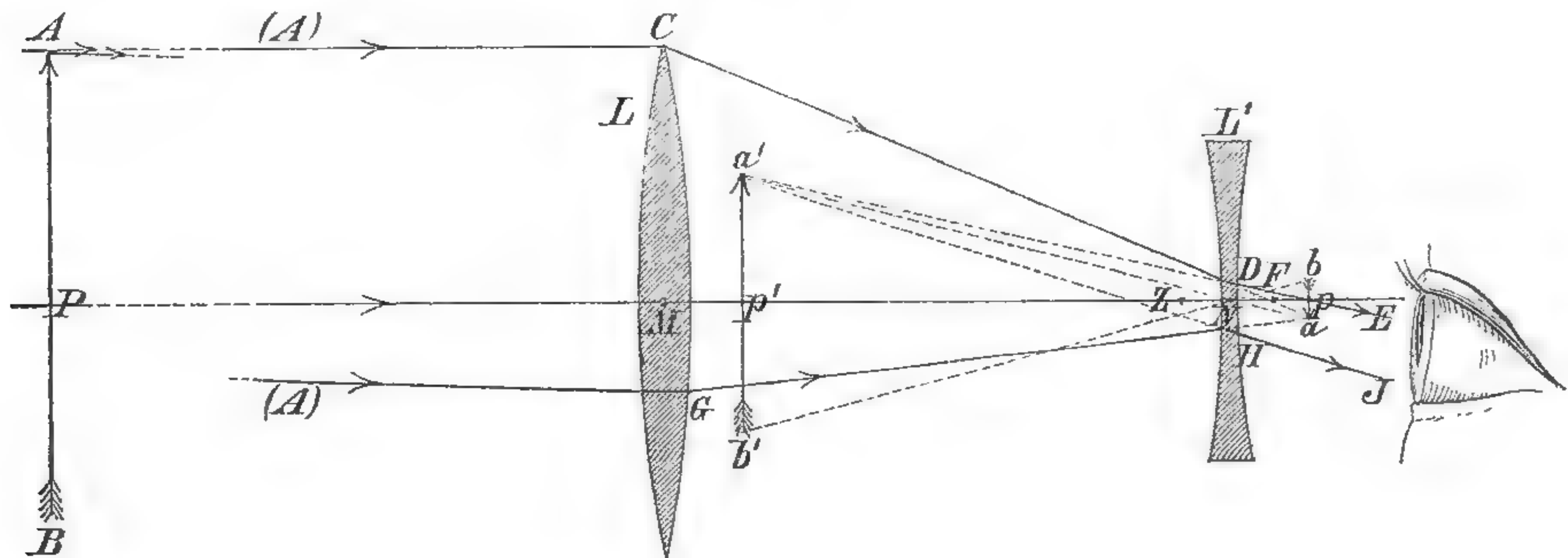
umgekehrtes, verkleinertes Bild *ba*; von diesem Bilde entwirft die mittlere Linse L'' ein zweites, abermals umgekehrtes, wirkliches Bild *a'b'*, dasselbe wird durch das letzte Okular L', welches als Lupe wirkt, vergröfsert als scheinbares Bild *a''b''* gesehen. Während daher im astronomischen Fernrohr die Gegenstände umgekehrt erscheinen, stellen sie sich durch ein Erdfernrohr infolge der zweimaligen Umkehrung aufrecht dar*).

3. **Das holländische oder Galileische Fernrohr** ist unter allen Fernrohren zuerst erfunden worden, und zwar von Lippershey in Holland 1608; in Italien hat es Galilei 1609 verfertigt und damit 4 Jupitermonde, den Ring des Saturn, die Mondgebirge, die Sonnenflecke, den Beleuchtungswechsel des Mars und der Venus entdeckt; heutzutage sind dergleichen Fernrohre besonders in der Form von Operngucker in Gebrauch. Das holländische Fernrohr (Fig. 321) besteht aus einem erhabenen Objektiv L und einer Hohllinse L' als Okular. Das objektive Bild *ba* eines fernen Gegenstandes AB, welches durch das Objektiv entworfen werden würde, läfst man nicht zustande kommen; sondern die Strahlen werden vorher durch das Okular L', welches eine Zerstreuungslinse ist, so auseinander gebrochen, dafs sie

*) Die Aufrichtung des Bildes in einem Erdfernrohr läfst sich auch durch eine Zusammenstellung von zwei totalreflektierenden, rechtwinkligen Glasprismen bewirken; solche Fernrohre, in welchen dies geschieht, werden **Prismenfernrohre** genannt und zeichnen sich besonders durch die Gröfse des Gesichtsfeldes aus.

sich für das beobachtende Auge hinter der Linse zu schneiden *scheinen*, weshalb der Gegenstand dem Auge aufrecht und vergröfsert als scheinbares Bild $a'b'$ erscheint; doch ist die Vergröfserung gering, und das Gesichtsfeld ist klein.

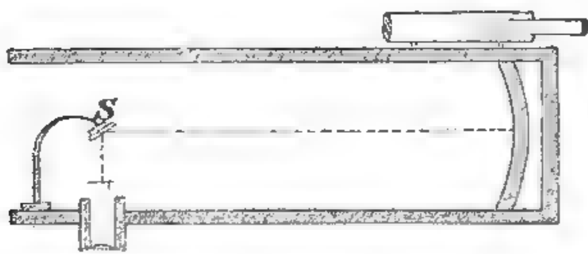
Fig. 321.



II. Spiegelteleskope oder Reflektoren.

In den Spiegelteleskopen, denen wir viele Entdeckungen in der Astronomie verdanken, wird das Bild des fernen Gegenstandes durch einen *Hohlspiegel* hervorgebracht. In dem *Newtonschen Spiegelteleskop* (Fig. 322) würde der grofse *Hohlspiegel* in der Nähe seines Brennpunktes ein verkleinertes, objektives Bild des entfernten Gegenstandes entwerfen. Bevor aber die Strahlen sich zu einem Bilde vereinigen, werden sie von einem kleinen, in schräger Stellung angebrachten *ebenen Spiegel* seitwärts zurückgeworfen, so dafs das Bild nahe der einen Seitenwand des Teleskops entsteht. Dort ist eine Seitenröhre mit einer *Okularlinse* eingesetzt; das Bild wird von der Seite her durch diese betrachtet und liegt innerhalb ihrer Brennweite, so dafs das Okular als Lupe wirkt. Um mit dem Spiegelteleskop den zu betrachtenden Gegenstand leichter aufsuchen zu können, ist auswendig, mit dem Teleskoprohr gleichlaufend, ein kleines Fernrohr, der *Sucher*, befestigt.

Fig. 322.

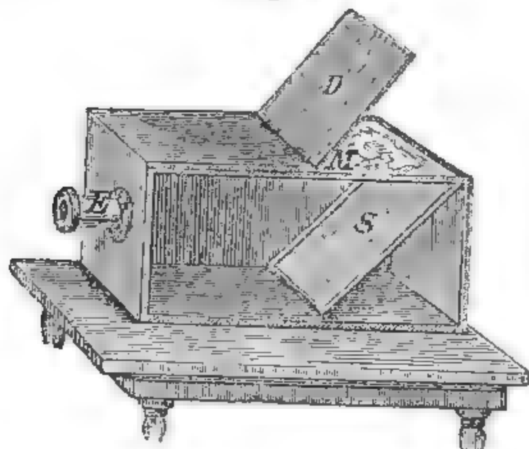


Die Spiegelteleskope vereinigen viele Strahlen eines Gegenstandes und geben daher lichtstarke Bilder. Da man heutzutage auch grofse Objektivlinsen herzustellen versteht, die auch viele Lichtstrahlen eines Gegenstandes vereinigen, werden die Reflektoren wieder durch die Refraktoren verdrängt.

§ 154. Die Camera obscura und die Photographien.

1. **Die Camera obscura oder Dunkelkammer** (Fig. 323) ist ein Kasten, der in der Mitte der einen Seitenwand eine Röhre E mit einer *erhabenen Linse* enthält; ihr gegenüber ist in schräger Stellung ein *ebener Spiegel* S angebracht. Die Linse entwirft von dem aufserhalb ihrer doppelten Brennweite befindlichen Gegenstande ein wirkliches, umgekehrtes Bild. Bevor sich aber die Strahlen zu einem Bilde vereinigen, treffen sie den Spiegel, werden zurückgeworfen und vereinigen sich zu einem Bilde auf der *mattgeschliffenen Glasscheibe* M, mit welcher der Kasten oben bedeckt ist.

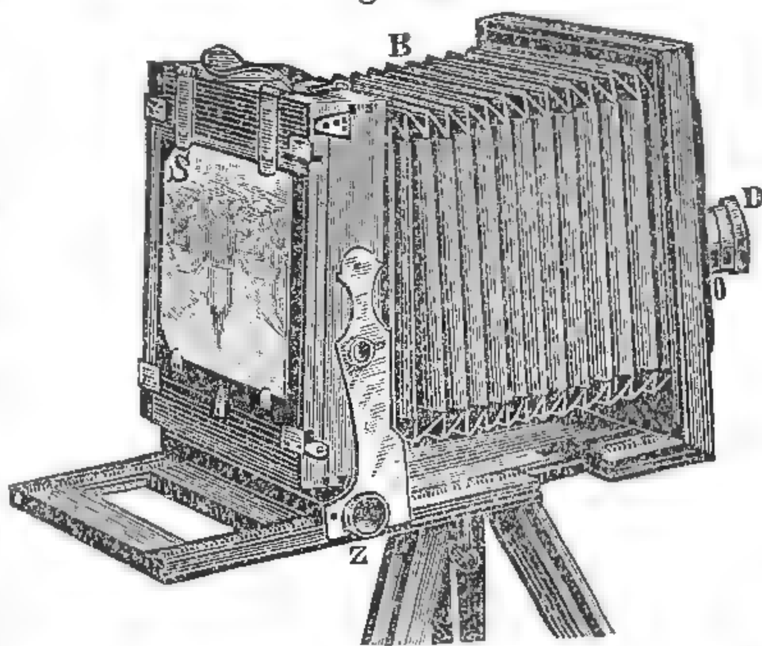
Fig. 323.



2. **Die Photographien** oder Lichtbilder beruhen darauf, dafs *durch das Licht Bromsilber oder Chlorsilber* zersetzt werden. Der Photograph stellt zuerst ein **negatives Bild** mittels der Camera

obscura und nachher mit Hilfe des negativen Bildes ein **positives Bild** durch Einwirkung des Tageslichtes her. Ein negatives Bild ist ein solches, auf welchem die hellen Stellen eines Gegenstandes dunkel, und die dunklen Stellen des Gegenstandes hell erscheinen; ein positives Bild ist ein solches, auf welchem sich die hellen Stellen des Gegenstandes hell und die dunklen dunkel darstellen. Das negative Bild wird auf folgende Weise angefertigt. Der Photograph nimmt eine mit Gelatine und Bromsilber auf der einen Seite überzogene Glasplatte oder Zelluloidfolie, wie er sie in grofser Anzahl vorrätig hat, und legt die trockene Platte in einen mit Schieber versehenen Rahmen, dieser wird in die Camera obscura geschoben und der Schieber aufgezogen. Die hierzu angewandte Camera obscura (Fig. 324) besteht aus zwei verschiebbaren hölzernen Rahmen, die durch einen Balgauszug *B* lichtdicht verbunden sind; das durch die Objektivlinsen *D* entworfene Bild fällt unmittelbar auf die mattgeschliffene Glasscheibe *S*, an deren Stelle, nach erfolgter Einstellung, die lichtempfindliche Bromsilberglasplatte gebracht wird. **Das Exponieren** oder die Einwirkung des Lichtes würde die Zersetzung des Bromsilbers zur Folge haben, und zwar am vollständigsten da, wo sich die hellsten Stellen des Gegenstandes abbilden.

Fig. 324.



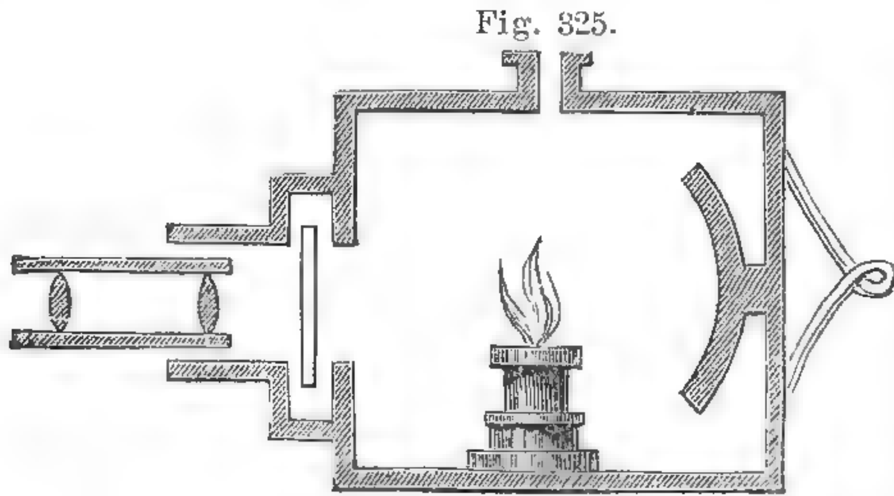
Man läfst aber durch das Licht nur die ersten Anfänge der Zersetzung ausführen und vollendet sie durch ein chemisches Mittel. Der Photograph schliefst je nach der Stärke des Lichtes nach 1 bis 0,1 Sekunden oder vermittels des Momentverschlusses nach noch kürzerer Zeit die Röhre des Objektivs und dann den Rahmen des Schiebers und kann die Platte monatelang in einem dunklen Kasten liegen lassen. Nachher ruft er in einem nur durch rotes Licht beleuchteten Zimmer (§ 156, S. 186) das Bild hervor oder **entwickelt das Bild**, indem er die Glasplatte mit einer Lösung von oxalsaurem Eisen übergiefst. Diese bewirkt, dafs das Brom sich von den durch das Licht getroffenen Stellen ablöfst, und das Silber als dunkler Körper zurückbleibt. Je heller eine Stelle des Gegenstandes ist, desto mehr Licht hat sie ausgesandt, und desto vollständiger wird an der entsprechenden Stelle des Bildes das Bromsilber zersetzt; desto vollständiger ist an solchen Stellen das Brom entfernt und das dunkle Silber übriggeblieben. Das nicht zersetzte Bromsilber wird durch das Eintauchen in eine Lösung von unterschwefligsaurem Natron entfernt, und so das negative Bild der ferneren Einwirkung des Lichtes entzogen oder **fixiert**. Die Platte wird zuletzt mit Wassser gewaschen und getrocknet. Etwaige Fehler werden durch Retouchieren mit einem Bleistift verbessert. — Das negative Bild dient zur Anfertigung der positiven Bilder. Mit Eiweis und Kochsalz überzogenes Papier wird in eine Lösung von salpetersaurem Silberoxyd getaucht; das Chlorsilber, welches infolge dieses Verfahrens das Papier bedeckt, ist für die Einwirkung des Lichtes hinreichend empfindlich. Das mit Chlorsilber überzogene Papier wird in einem Kopierrahmen unter die Glasplatte mit dem negativen Bilde gelegt und dem Tageslicht so ausgesetzt, dafs das Licht nur durch die Glasplatte zum Papier gelangen kann. Durch die hellen Stellen des negativen Bildes dringt das meiste Licht, an ihnen wird das meiste Chlorsilber auf dem Papiere zersetzt, und sie werden am dunkelsten; die dunklen Stellen des negativen Bildes lassen kein Licht durch, und deshalb bleiben die entsprechenden Stellen auf dem Papier hell. So entsteht auf dem Papier ein Bild von naturgemäfser Verteilung von Licht und

Schatten, ein positives Bild. Die Fixierung desselben geschieht, indem das Papier in eine Lösung von unterschwefligsaurem Natron gelegt wird. Die Herstellung der Photographien ist 1841 von Talbot in England erfunden und im Laufe der Jahre sehr vervollkommnet worden.

§ 155. Die Laterna magica und die Nebelbilder.

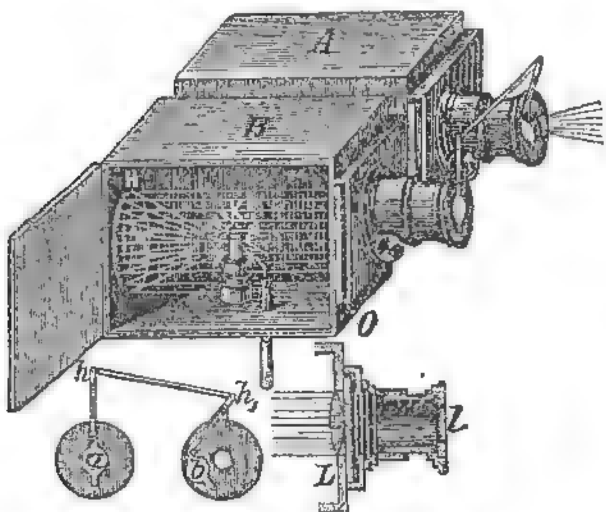
Die Laterna magica oder Zauberlaterne (Fig. 325) enthält in einem Gehäuse von Blech einen Hohlspiegel, eine Lampe und zwei erhabene Linsen. Die Lampe steht im Brennpunkt des metallenen Hohlspiegels, so daſs die abzubildenden Objekte hell beleuchtet werden; diese sind mit durchscheinenden Farben auf Glastafeln gemalt und werden zwischen der Lampe und den Linsen eingeschoben. Die dem Objekt nächste Linse bricht die Lichtstrahlen so, daſs recht viele auf die andere Linse fallen und zu einem deutlicheren Bilde vereinigt werden. Das umgekehrte, vergröſserte Bild läſst sich auf der Wand eines dunklen Zimmers oder auf einem durchscheinenden Vorhange auffangen. Damit die Bilder sich aufrecht zeigen, werden die bemalten Glastafeln verkehrt eingeschoben.

Fig. 325.



Zur Darstellung der **Nebelbilder** bedient man sich des **Agioskops** (Fig. 326), welches aus zwei gleichen Zauberlaternen besteht. Jede derselben wirft, solange keine Glasplatte eingesetzt ist, einen hellen Kreis auf den durchscheinenden Vorhang, vor welchem sich die Zuschauer befinden; beide Laternen sind so aufgestellt, daſs die durch sie beleuchteten Kreise zusammenfallen. Die Linsen der zweiten Laterne werden durch eine Metallscheibe verdeckt, und in dieselbe eine Glasplatte mit einer Winterlandschaft geschoben; in die erste Laterne dagegen, deren Linsen nicht verdeckt sind, wird eine Glasplatte mit derselben, als Sommerlandschaft dargestellten Gegend eingesetzt. Es erscheint die Sommerlandschaft deutlich auf dem Vorhang; indem man aber die Linsen der ersten Laterne zum Teil verdeckt, verliert die Landschaft ihre deutlichen Umrisse und erscheint wie in Nebel gehüllt. Gleichzeitig macht man die Linsen der zweiten Laterne mit der Winterlandschaft immer mehr frei, und wenn dieselben ganz frei, die der ersten Laterne aber ganz verdeckt sind, so zeigt sich an Stelle der Sommerlandschaft die Winterlandschaft in vollkommener Deutlichkeit. Mittlerweile wird in die erste Laterne ein neues Bild geschoben, das nachher an die Stelle der Winderlandschaft tritt und später wieder durch ein anderes Bild der zweiten Laterne verdrängt wird*).

Fig. 326.



E. Das farbige Licht.

§ 156. Spektralfarben und Spektralanalyse.

1. Der Mathematiker Newton stellte im Jahre 1666 zuerst folgende, leicht zu wiederholende Versuche an. **1. Zerlegung weiſsen Lichtes in die Spektralfarben.** Läſst man in ein verfinstertes Zimmer durch die kleine Öffnung eines Fenster-

*) Eine bedeutende Vergröſserung macht die Bilder der Laterna magica undeutlich, weil sie schwach beleuchtet sind. Setzt man deshalb an die Stelle der Lampe ein Kalkstückchen, das, in einer Flamme von Sauerstoff und Wasserstoff glühend, ein starkes Licht gibt, und gebraucht man stärker vergröſsernde Linsen, so hat man die Einrichtung des **Hydro-Oxygen-Mikroskops**, welches vielen Zuschauern zugleich kleine Gegenstände in ungemeiner Vergröſserung darstellt. Verwendet man zur Beleuchtung elektrisches Licht, so wird das Mikroskop ein **photo-elektrisches** genannt.

ladens Sonnenstrahlen fallen, so bildet sich unten auf der gegenüberliegenden Wand ein weifses, rundes Sonnenbild. Läfst man dies Sonnenlicht durch ein dreiseitiges Glasprisma (Fig. 327) gehen, dessen brechende Kante unten ist, so rückt, infolge der Brechung (§ 147), das Bild nicht blofs an der Wand in die Höhe, sondern es erscheint als ein länglicher Streifen und zeigt unzählige Farben, unter denen in der Reihenfolge von unten nach oben besonders die sieben Regenbogenfarben hervortreten: **Rot, orange, gelb, grün, blau, indigo, violett. Das weifse Sonnenlicht wird durch ein Prisma in unzählig viele farbige Strahlen** zerlegt, unter denen die sieben Regenbogenfarben hervortreten. Das Farbenband heifst das **Spektrum,** die Farben werden Spektralfarben genannt. Die Zerlegung des weifsen Lichtes in farbige Strahlen heifst **die Farbenzerstreuung oder Dispersion des Lichtes.** 2. **Die verschiedene Brechbarkeit der farbigen Strahlen.** Die roten Strahlen sind am wenigsten an der Wand emporgerückt, stärker die orangefarbenen, noch stärker die gelben usf. Es erscheinen also alle Strahlenarten von der brechenden Kante des Prismas hinweg gebrochen, aber in verschiedenem Grade. Die stärkste Brechung erleiden die violetten, die schwächste die roten Strahlen. Da die verschieden gefärbten und in verschiedenen Richtungen auseinanderlaufenden Lichtstrahlen vor dem Durchgange durch das Prisma weifse und in gleicher Richtung gehende Lichtstrahlen waren, machte Newton den Schlufs: **Weifse Lichtstrahlen sind aus einer grofsen Anzahl farbiger Lichtstrahlen zusammengesetzt, welche verschiedene Brechbarkeit besitzen; die verschiedene Brechbarkeit der im weifsen Licht vereinigten farbigen Lichtstrahlen ist die Ursache ihrer Trennung beim Durchgange durch ein Prisma.** Als Folge der verschiedenen Brechbarkeit scheint, wie Newton zeigte, bei einem Viereck, das halb violett und halb rot gefärbt ist, durch das Prisma betrachtet, dessen brechende Kante nach oben liegt, die violette Hälfte höher zu liegen als die rote. Weiter lassen sich die Spektralfarben durch ein zweites Prisma nicht zerlegen; sondern dieselben sind **einfache** Farben. 3. Um die **Zusammensetzung des weifsen Lichtes aus den Strahlen der Spektralfarben** ferner zu beweisen, vereinigte Newton die farbigen Strahlen durch eine erhabene Linse und erhielt im Brennpunkte derselben ein weifses, rundes Sonnenbild (Fig. 328). Wenn man sie vereinigt, geben daher die Spektralfarben weifses Licht*).

Fig. 327.

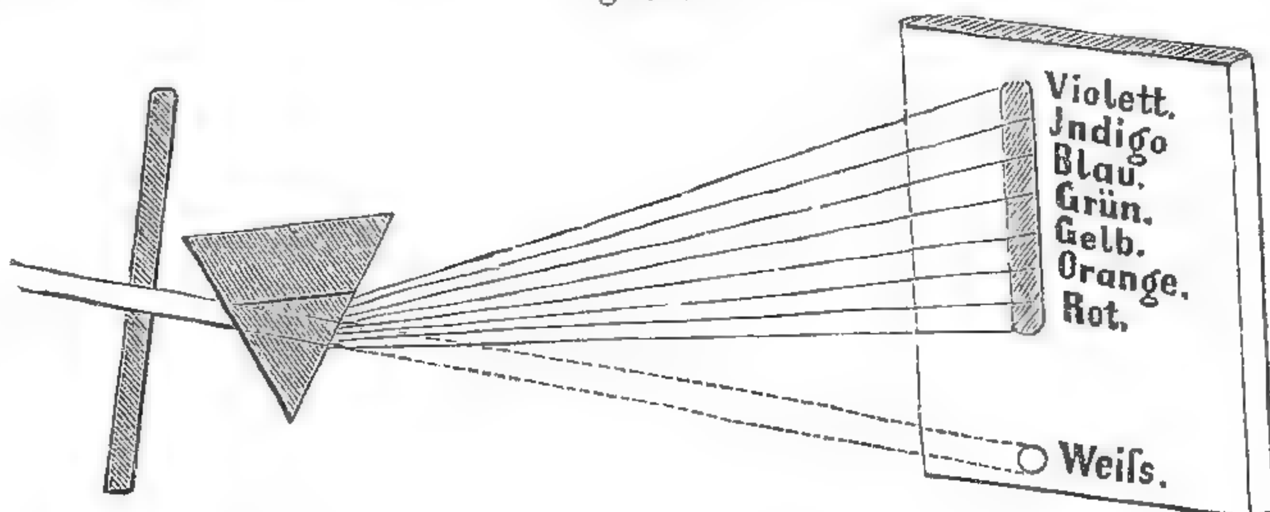
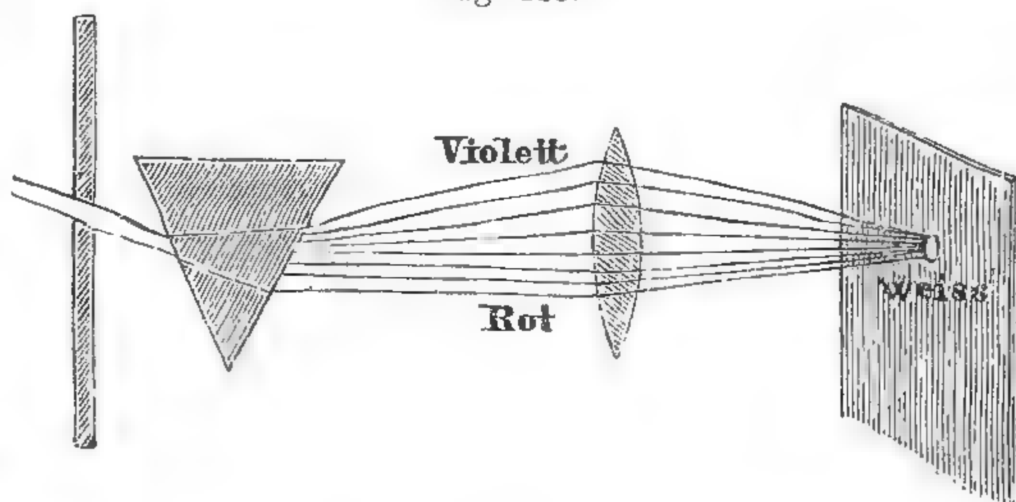
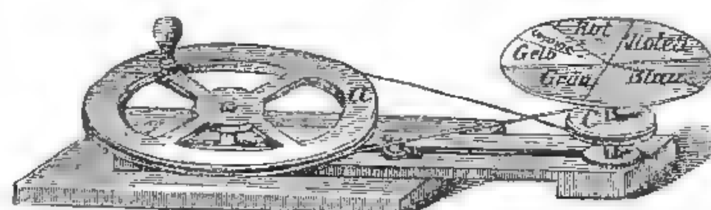


Fig. 328.



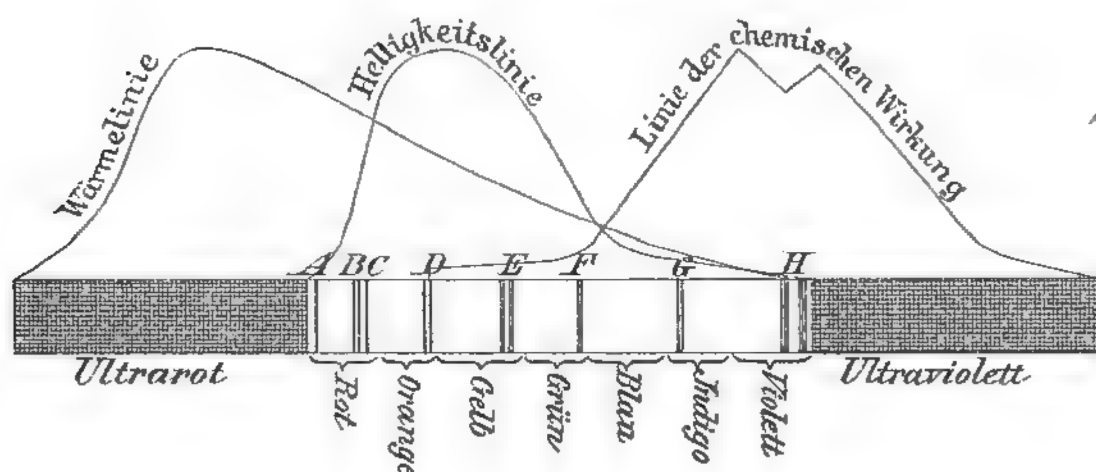
*) Man kann eine Kreisscheibe mit den sieben Hauptfarben des Spektrums so bemalen, dafs ihre Ausdehnung derjenigen entspricht, welche sie im Spektrum haben. Setzt man diesen **Farbenkreis** (Fig. 329) in schnelle

Fig. 329.



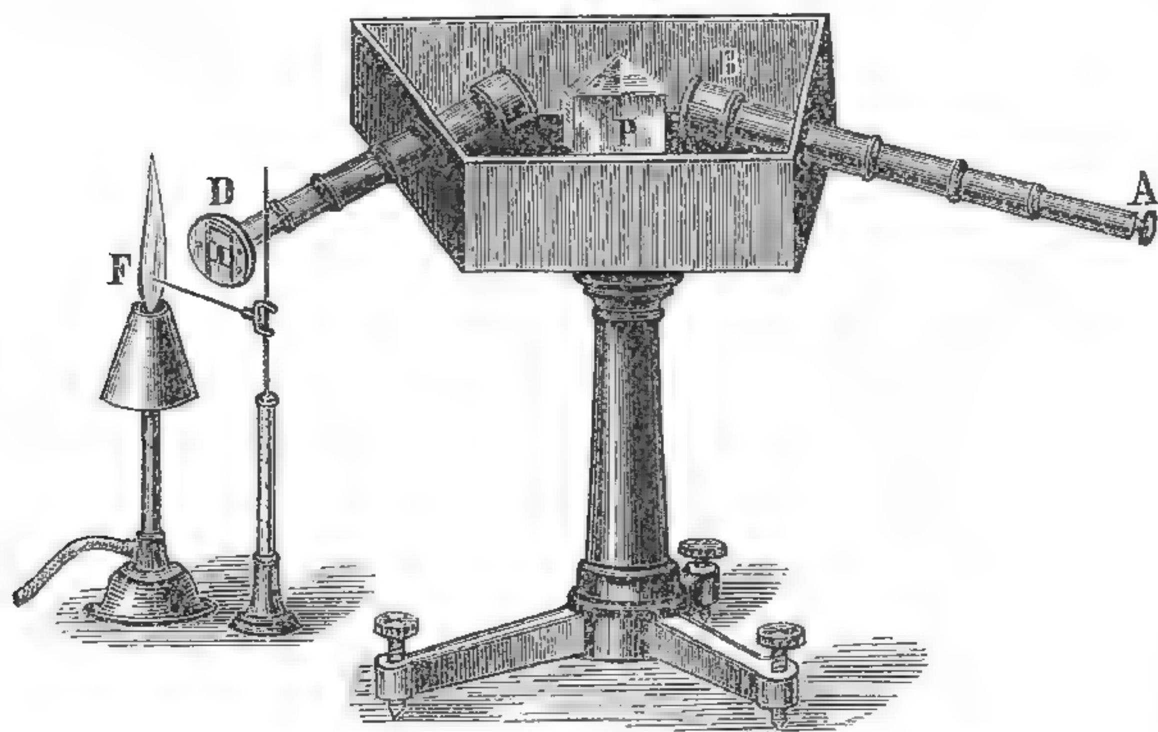
Aufser den leuchtenden, sichtbaren Strahlen sind im Sonnenspektrum dunkle, **unsichtbare Strahlen** vorhanden. Wie ein empfindliches Thermometer anzeigt, ist die erwärmende Wirkung der Strahlen des sichtbaren Spektrums um so gröfser, je weiter sie nach dem roten Ende zu liegen; es finden sich jedoch auch noch erwärmende, aber unsichtbare Strahlen, die über das Rot hinaus liegen, also schwächer gebrochen werden als rote Strahlen, sie heifsen **ultrarote** Strahlen; und zwar liegt in dem ultraroten Teile des Spektrums die wärmste Stelle des ganzen Spektrums. Die Photographie des Spektrums zeigt, dafs die roten und ein Teil der orangefarbigen Strahlen auf die photographische Platte nicht einwirken, dafs es hingegen im Spektrum unsichtbare Strahlen gibt, die stärker gebrochen werden als die violetten und die photographische Platte noch durch Zersetzung des Silbersalzes chemisch beeinflussen. Diese Strahlen heifsen **ultraviolette Strahlen**; sie bringen auch fluoreszierende Stoffe, z. B. Baryumplatincyanür zum Leuchten. In Fig. 330 ist das sichtbare Spektrum dargestellt und die anliegenden Gebiete der ultraroten und ultravioletten Strahlen sind angedeutet. Die Abstände der einzelnen Punkte der „Wärmelinie“, der „Helligkeitslinie“, der „Linie der chemischen Wirkung“ von der oberen wagerechten geraden Linie geben vergleichsweise an, wie grofs an den verschiedenen Stellen des sichtbaren und unsichtbaren Spektrums die Wärme, die Helligkeit und die chemische Wirkung ist.

Fig. 330.



2. **Spektrum weifsglühender Körper.** Der zur Untersuchung des Spektrums eines Körpers dienende Apparat heifst der Spektralapparat (Fig. 331) oder das Spektroskop und besteht aus einem Flintglasprisma *P*, einem Fernrohr *AB* zur Beobachtung des (subjektiven) Spektrums*) und einer nach der Lichtquelle zu mit einem lotrechten Spalte *D* versehenen Röhre *CD*, dem Kollimator oder Spaltrohr, welches nach dem Prisma zu mit einer Sammellinse so geschlossen ist, dafs sich der Spalt im Brennpunkt befindet und daher die aus der Linse auf das Prisma fallenden Strahlen parallel sind (§ 148, 1, II). Weifsglühendes Platin, Drummondsches Kalklicht, Gasglühlicht, überhaupt alle weifsglühenden festen oder tropfbarflüssigen Körper geben ein Spektrum, welches vom

Fig. 331.



Umdrehung, so wirken wegen der Fortdauer des Lichteindrucks alle Farben gleichzeitig auf das Auge ein und geben zusammen ein Weifs, das wegen der geringen Lichtstärke ins Grau übergeht.

*) Ein subjektives Spektrum erscheint dem Auge, wenn es durch ein Prisma nach dem Spalte sieht, durch welchen das Licht auf das Prisma fällt. Das subjektive Spektrum zeigt im Gegensatze zu einem auf eine Fläche entworfenen objektiven Spektrum der brechenden Kante zunächst das Violett, während das Rot der brechenden Kante am fernsten liegt. Warum? Wie erscheint das Spektrum im Keplerschen Fernrohr *AB* (Fig. 331)?

Rot bis zum Violett durchaus zusammenhängend ist, ein sogenanntes **kontinuierliches Spektrum**, welches man als eine ununterbrochene Aufeinanderfolge von verschieden gefärbten Spaltbildern zu betrachten hat.

3. **Spektra glühender Gase.** Stellt man vor den Spalt des Spektralapparates eine Spiritusflamme oder einen Bunsenbrenner und bringt an einem Platindraht Kochsalz in die Flamme, so färbt sich diese infolge des verdampfenden Natriums gelb. Betrachtet man die gefärbte Flamme durch den Spektralapparat, so erscheint an einer bestimmten Stelle das gelbe Bild des Spaltes; die mit Natriumdampf gefärbte Flamme sendet also nur gelbes Licht aus. Wird die Flamme mit Kaliumdampf gefärbt, so entsteht im Spektralapparat eine rote und eine violette Linie, d. h. ein rotes und ein violettes Bild des Spaltes, weil der glühende Kaliumdampf nur rote und violette Strahlen von bestimmter Brechbarkeit aussendet. In einer Glasröhre eingeschlossener Wasserstoff, durch den der elektrische Funke schlägt, gibt als getrennte Spaltbilder eine schöne rote und zwei blaue Linien. **Glühende Dämpfe und leuchtende Gase senden nur Lichtstrahlen bestimmter Farbe und Brechbarkeit aus und erzeugen daher Linienspektra, die aus einer Anzahl getrennter heller Linien bestehen.** Diese Linien haben für jedes Element ihre bestimmten Farben und ihre bestimmten Stellen im Spektrum. Sie bilden ein Erkennungsmittel für das Element und heifsen charakteristische oder Spektrallinien.

Die Benutzung der für die chemischen Elemente charakteristischen Spektrallinien zur Analyse von chemischen Verbindungen heifst **Spektralanalyse** (Kirchhoff und Bunsen, 1860).

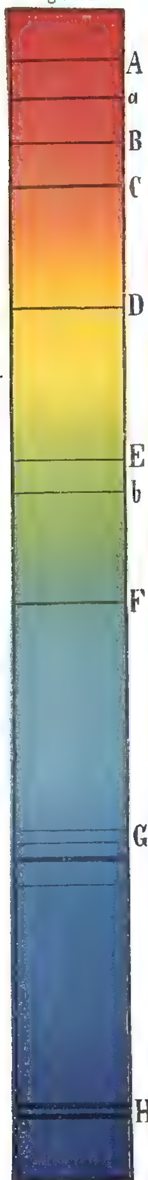
Dämpfe und Gase haben das Linienspektrum nur, wenn sie als Elemente, in starker Verdünnung und hoher Temperatur vorhanden sind. Bei stärkerer Verdichtung und einer weniger hohen Temperatur geben sie ein aus hellen, breiten, schattierten Bändern bestehendes Spektrum, ein **Bandenspektrum.** Ein Bandenspektrum entsteht auch durch chemische Verbindungen im Zustande glühender Dämpfe oder leuchtender Gase.

4. **Umkehrung der Gasspektra.** Läfst man das Licht eines weifsglühenden Platindrahtes durch Natriumdampf hindurch auf das Prisma fallen, so wird die helle, gelbe Natriumlinie in eine dunkle Linie verwandelt, welche das kontinuierliche Spektrum des weifsglühenden Körpers unterbricht. Ebenso verwandeln sich alle anderen Gasspektra in dunkle Linien, wenn das Licht eines weifsglühenden Körpers durch das glühende Gas, welches das Linienspektrum des Gases erzeugt hat, hindurchgeht; es findet eine Umkehrung der Gasspektra statt. **Erhitzte Gase lassen diejenigen Strahlen, die sie selbst aussenden, nicht hindurch, sondern absorbieren dieselben; es entsteht ein Absorptionsspektrum mit dunklen Linien.**

5. **Die Fraunhoferschen Linien.** Der Optiker Fraunhofer zu München beobachtete 1814, dafs in dem farbigen Bande des Sonnenspektrums zahlreiche dunkle Querlinien immer an denselben Stellen auftreten, dafs also dem weifsen Lichte der Sonne zahlreiche Strahlen bestimmter Farbe und bestimmter Brechbarkeit fehlen; er bezeichnete acht der hervorragendsten dieser Linien mit den Buchstaben A bis H (Fig. 332). Durch Kirchhoff und Bunsen zu Heidelberg wurde festgestellt, dafs fast alle Fraunhoferschen Linien im Sonnenspektrum solche Stellen einnehmen, an denen sonst farbige Linien der Spektra glühender Gase entstehen; z. B. fällt der Ort der Fraunhoferschen D-Linie genau mit der Stelle zusammen, an der die gelbe Linie des Natriumlichtes entsteht. Die drei Linien des glühenden Wasserstoffes entsprechen genau den Fraunhoferschen Linien C, F und G usf. Daraus zogen Kirchhoff und Bunsen den Schlufs: Das Sonnenspektrum mit den Fraunhoferschen Linien ist ein Absorptionsspektrum, welches dadurch entsteht, dafs die aus glühenden

Gasen bestehende **Sonnenhülle** diejenigen Strahlen des weifsglühenden **Sonnenkerns** nicht hindurchläfst, welche sie selbst aussendet. Aus der Vergleichung des Ortes der Fraunhoferschen Linien mit den Gasspektren irdischer Elemente hat man daher feststellen können, dafs die Sonnenhülle fast alle die chemischen Elemente enthält, aus der unsere Erde besteht. Die karminroten Sonnenfackeln oder Protuberanzen erzeugen im Spektralapparat die charakteristischen Wasserstofflinien, sind also Ausbrüche glühenden Wasserstoffes.

Fig. 332.



6. **Achromatische Linsen.** Jede einfache Sammellinse erzeugt aufser einer Brechung, wegen ihres an jeder Stelle prismatischen Querschnittes, auch eine Farbenzerstreuung der weifsen Lichtstrahlen. Da die violetten Strahlen stärker gebrochen werden als die blauen usf., so besitzt jede Strahlenart ihren besonderen Brennpunkt (Fig. 333) und erzeugt daher auch ihr besonderes Bild des Gegenstandes. Da diese Bilder nahezu aufeinanderfallen, so ergänzen sich die aufeinanderfallenden verschiedenfarbigen Strahlenarten im allgemeinen wieder zu weifs. Weil aber an den Rändern dieser Bilder nicht alle Strahlenarten aufeinanderfallen, so erscheinen die Ränder farbig umsäumt und unscharf. Das Auftreten unscharfer, farbiger Ränder in von Linsen entworfenen Bildern heifst **die chromatische Abweichung.** Zwei mit voneinander abgewendeten brechenden Kanten aneinandergelegte gleiche Prismen derselben Glassorte erzeugen weder Strahlenbrechung noch Zerstreuung, weil das zweite Prisma, seiner umgekehrten Lage wegen, die Brechung und die Farbenzerstreuung des ersten wieder aufhebt. Entwirft man von einem Flintglasprisma und einem Kronglasprisma, die gleiche brechende Winkel haben, die Spektren, so ist das Flintglasspektrum zwar doppelt so lang als das Kronglasspektrum, aber die Ablenkung von der ursprünglichen Richtung der Strahlen, welche die Mitte des Flintglasspektrums erlitten hat, ist lange nicht doppelt so grofs als die Ablenkung der Mitte des Kronglasspektrums von der ursprünglichen Strahlenrichtung. Gibt man dem Flintglasprisma nur den halben brechenden Winkel, so ist die Länge des Spektrums oder die Farbenzerstreuung gerade so grofs wie beim Kronglasprisma, aber die Ablenkung von der ursprünglichen Strahlenrichtung oder die Brechung ist kleiner als beim Spektrum des Kronglasprismas. Legt man nun hinter ein Kronglasprisma ein Flintglasprisma, dessen brechender Winkel nur halb so grofs ist, mit abgewendeter brechender Kante, so wird durch das Flintglasprisma wohl die Farbenzerstreuung völlig aufgehoben, die das Kronglasprisma erzeugt, aber die Gröfse der Brechung wird nur ein wenig vermindert (Fig. 334). Wird daher hinter eine Sammellinse aus Kronglas eine solche Hohllinse aus Flintglas gebracht, dafs an jeder Stelle der prismatische Querschnitt der Hohllinse den halben brechenden Winkel besitzt, den die Sammellinse hat, so entsteht eine **achromatische Linse** oder eine Linse ohne Farbenzerstreuung, wie sie zuerst 1757 von dem Engländer Dollond hergestellt worden ist (Fig. 335). Eine solche Linse vereinigt alle von einem weifsleuchtenden Punkte ausgesendeten Strahlen wieder in einem weifsen Bildpunkte. Der Brennpunkt *B* einer solchen Linse liegt wegen der von der Achse ablenkenden Wirkung der Flintglaslinse weiter von der Linse entfernt als die einzelnen Brennpunkte *V* und *R* der durch die Kronglaslinse allein erzeugten farbigen Brennpunkte. Aufserdem kommen jetzt, besonders bei den Mikroskopen, neue Glassorten (Boratglas, Phosphatglas) zur Anwendung, welche die Leistungen der älteren übertreffen.

Fig. 333.

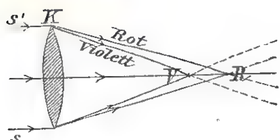


Fig. 334.

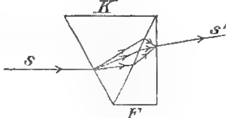
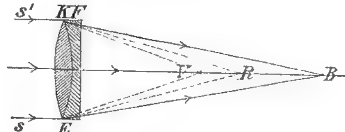


Fig. 335.



§ 157. Der Regenbogen.

Einen **Regenbogen** nimmt man wahr, wenn man vor sich eine regnende Wolke und hinter sich die Sonne hat. Er bildet einen kreisförmigen Bogen, der auf der äufseren Seite rot, auf der inneren violett gefärbt erscheint und zwischen beiden andere Spektral- oder Regenbogenfarben zeigt. Über diesem Hauptregenbogen sieht man häufig noch einen Nebenregenbogen, dessen Farben weit schwächer sind und die entgegengesetzte Reihenfolge haben, so dafs das Rot sich auf der inneren und das Violett sich auf der äufseren Seite darstellt. Regenbogen nehmen wir auch wahr in dem niederfallenden Staubregen eines Springbrunnens oder eines Wasserfalls, wenn wir die vom Sonnenlicht getroffenen Wassertropfen betrachten. Daher ist der Regenbogen die Folge einer Veränderung, welche mit dem Sonnenlicht in den Wassertropfen vorgeht. Nun bricht Wasser die Sonnenstrahlen in ähnlicher Weise wie ein Glasprisma und zerlegt sie dabei, wie man an einer mit Wasser gefüllten, von der Sonne beschienenen Karaffe sehen kann, in farbige

Fig. 336.

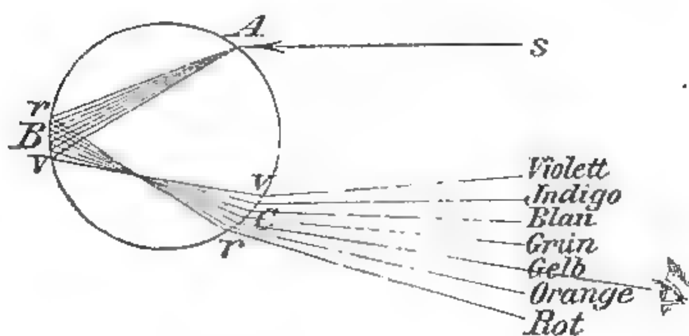
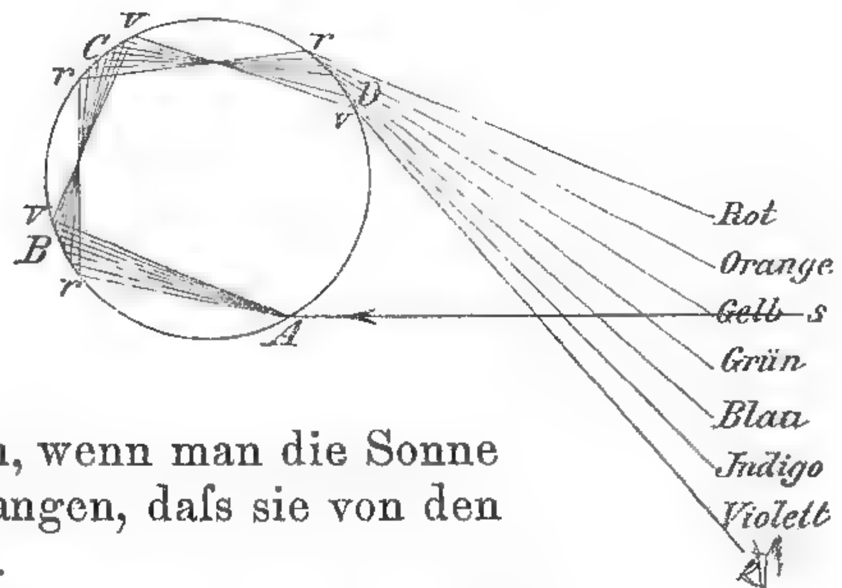


Fig. 337.



Strahlen. Die farbigen Strahlen können, wenn man die Sonne hinter sich hat, nur dadurch ins Auge gelangen, dafs sie von den Wassertropfen zurückgeworfen werden.

Bei dem **Hauptregenbogen** wird das Sonnenlicht, das in der Richtung *SA* (Fig. 336) auf einen Regentropfen fällt, im Punkte *A* gebrochen, dann von der Hinterwand *B* des Tropfens zum Teil nach *C* zurückgeworfen und in *C* zum zweitenmal gebrochen; infolge der Brechungen findet eine Zerlegung des weifsen Lichtes in farbige Strahlen statt. Die auf die obere Hälfte der Regentropfen fallenden Sonnenstrahlen werden also beim Eintritt in die Tropfen gebrochen, von ihrer Hinterwand zurückgeworfen und beim Austritt aus den Tropfen nochmals gebrochen, wobei infolge der Brechungen eine Zerlegung in farbige Strahlen stattfindet. Weil dieselben sehr verschiedene Richtung haben, gelangt aus einem Tropfen nur eine Art farbiger Strahlen ins Auge, während die anders gefärbten Strahlen über oder unter dem Auge dahingehen. Von den höher gelegenen Tropfen dringen die untersten, roten Lichtstrahlen ins Auge, von den niedrigeren Tropfen die violetten*). Nun haben die in einem Kreise liegenden Tropfen zu dem Auge und der Sonne ganz gleiche Lage und senden ihm gleichfarbige Strahlen

*) Weil die Regentropfen meistens weit vom Beobachter entfernt sind und das Licht bei der Zurückwerfung an Stärke verliert, machen die farbigen Lichtstrahlen nur dann einen hinreichenden Eindruck, wenn aus einem Tropfen mehrere gleichlaufende Strahlen von derselben Farbe ins Auge gelangen. Dies ist dann der Fall, wenn die roten Strahlen mit den Sonnenstrahlen einen Winkel von 42,5 Grad und die violetten einen Winkel von 40,5 Grad bilden. Die Breite des Hauptregenbogens beträgt deshalb etwa 2 Grad. Beim Nebenregenbogen machen die wirksamen roten Strahlen mit den Sonnenstrahlen einen Winkel von 50 Grad, die violetten einen Winkel von 53,5 Grad.

zu; es erscheinen daher kreisförmige farbige Bogen, von denen der äufserste rot ist*). Die **Gröfse** des Regenbogens hängt von dem Stande der Sonne ab. Eine von der Sonne durch das Auge des Beobachters gedachte gerade Linie trifft stets den Mittelpunkt des Kreises, von welchem der Regenbogen ein Stück ausmacht. Bei Sonnenaufgang und Sonnenuntergang bildet er einen vollständigen Halbkreis, bei Sonnenaufgang im Westen und bei Sonnenuntergang im Osten; je höher die Sonne steht, desto kleiner wird der farbige Bogen; steht die Sonne zu hoch, so wird dem Bewohner der Ebene kein Regenbogen sichtbar. Der **Nebenregenbogen** entsteht (Fig. 337) dadurch, dafs Sonnenstrahlen in den unteren Teil höher liegender Regentropfen eindringen und durch dieselben eine zweimalige Brechung und eine zweimalige Zurückwerfung erleiden, und hat darum schwächere Farben, weil das Licht bei jeder Zurückwerfung an Stärke verliert.

§ 158. Mischfarben, Ergänzungsfarben, Körperfarben, Fluoreszenz.

1. **Mischfarben.** Wenn man in einem verfinsterten Zimmer durch ein Prisma ein Spektrum entstehen läfst, kann man durch einen Schirm eine oder mehrere der Spektralfarben zurückhalten und die übrigen durch eine erhabene Linse auf einer weifsen Fläche vereinigen. Schliefst man eine Strahlengattung nach der anderen von der Vereinigung aus, so zeigt sich folgendes: Alle übrigen Spektralfarben

ohne Rot	geben Grün,		ohne Grün	geben Rot,	
„ Orange	„ Blau,		„ Blau	„ Orange,	
„ Gelb	„ Violett,		„ Violett	„ Gelb.	

Auf ähnliche Weise kann man auch zwei einfache Farben vereinigen oder mischen. Rot und Gelb geben zusammen die im Spektrum zwischen ihnen befindliche Farbe Orange; Gelb und Blau geben Grün; Blau und Rot geben Violett. Die durch Vereinigung mehrerer Farben entstehenden Farben heifsen Mischfarben. Die Empfindung einer bestimmten Farbe kann daher im Auge auf zweifache Weise entstehen, entweder durch Einwirkung einer einfachen Farbe oder durch eine Mischfarbe, d. h. durch das Zusammenwirken verschiedener Farben.

2. **Ergänzungsfarben.** Alle Spektralfarben geben zusammen Weifs. Ferner geben bei Weglassung von Rot die übrigen Farben zusammen Grün. Fügt man daher zum Grün Rot hinzu, so erhält man Weifs. Es ergänzen sich zu weifsem Licht: 1. Rot und Grün. 2. Orange und Blau. 3. Gelb und Violett. Je zwei Farben, welche zusammen Weifs ergeben, heifsen Ergänzungsfarben oder Komplementärfarben. Bei Zusammenstellungen farbiger Gegenstände heben sich die Ergänzungsfarben gegenseitig, und jede bewirkt, dafs die andere lebhafter erscheint.

3. **Körperfarben.** Fängt man in einem dunklen Zimmer auf einem weifsen Schirm das Sonnenspektrum auf, so werden alle farbigen Strahlen desselben in gleicher Weise zurückgeworfen und wahrgenommen. Ein undurchsichtiger Körper ist daher weifs, wenn er alle im Sonnenlicht enthaltenen farbigen Strahlen in gleicher Weise zurückwirft. Fällt das Spektrum auf einen nicht

*) Diese Erklärung der farbigen Erscheinung des Regenbogens rührt von Descartes her (1637). Airy (1842) und Pernter (1897) weisen nach, dafs die Entstehung, die Reihenfolge und die Ausdehnung der Farben des Regenbogens von der Gröfse der Regentropfen abhängt und nicht unmittelbar eine Folge der Farbenzerstreuung ist, sondern von Interferenzerscheinungen (§ 161) herrührt, welche die aus den Tropfen austretenden zerlegten Strahlen gegenseitig hervorrufen.

glänzenden schwarzen Schirm, so sind keine Farben wahrzunehmen, sondern alle werden von dem Schirm absorbiert (aufgenommen oder verschluckt). Ein Körper ist also schwarz, wenn er alle Spektralfarben absorbiert. Grau ist ein lichtschwaches Weifs. Die meisten undurchsichtigen Körper aber sind farbig. Um ihre Farbe zu untersuchen, kann man in einem dunklen Zimmer auf eine farbige Fläche ein Sonnenspektrum fallen lassen; es erscheinen dann einige Stellen des Spektrums dunkel, weil dort die Strahlen absorbiert werden; die übrigen erscheinen hell, weil sie die Strahlen zurückwerfen; diese Strahlen geben gemischt dem Körper seine Farbe. Man kann auch vor dem zu untersuchenden Körper einen schwarzen Schirm, aus welchem ein 3 mm breiter und 5 cm langer Streifen ausgeschnitten ist, aufstellen und die nicht verdeckte Stelle des Körpers durch ein Prisma betrachten. Durch ein Prisma angesehen, bleiben die einfachen Farben unverändert; die Mischfarben aber werden in ihre Bestandteile zerlegt. Betrachtet man auf diese Weise einen hellblauen Gegenstand, so zeigt er alle Farben des Spektrums mit Ausnahme von Gelb. Rot enthält aufser Rot etwas Orange, Grün und Violett. Die Körperfarben sind daher Mischfarben und entstehen bei undurchsichtigen Körpern dadurch, dafs dieselben von den im weifsen Licht enthaltenen Farben einzelne absorbieren und die übrigbleibenden gemischt zurückwerfen. Auch die farbigen durchsichtigen Körper absorbieren einen Teil der im weifsen Licht enthaltenen Farben, und die übrigen mischen sich und werden teils durchgelassen, teils zurückgeworfen. Blaues Glas zeigt dieselbe Farbe im durchgelassenen wie im zurückgeworfenen Licht.

4. **Fluoreszenz** und **Phosphoreszenz.** Die absorbierten Lichtstrahlen bringen manche durchsichtige Körper zum Selbstleuchten in eigener Farbe. Petroleum, welches im Durchblick gelb erscheint, sendet dem darüber befindlichen Auge blaues Licht zu, wenn Sonnenlicht darauf fällt. Ebenso ist Uranglas gelb, wenn man hindurchblickt, zeigt aber, solange es von lebhaftem Licht bestrahlt wird, einen grünen Schimmer. Der grüne ätherische Auszug aus Blattgrün schimmert rot und blaue Lackmustinktur orangefarben. Diese Erscheinung, dafs manche Körper, solange sie von lebhaftem Licht getroffen werden, ein Licht ausstrahlen, dessen Farbe von der Farbe der Körper und der des auffallenden Lichtes verschieden ist, heifst die **Fluoreszenz.** Dieselbe ist zuerst an dem grünlichen Flufsspat (Fluorkalzium) beobachtet worden. Die Fluoreszenz wird besonders lebhaft, wenn man den Lichtkegel einer Sammellinse auf den fluoreszierenden Körper fallen läfst. Von der Fluoreszenz, welche beim Aufhören der Bestrahlung erlischt, unterscheidet sich die **Phosphoreszenz** bestrahlter Körper dadurch, dafs dieselben längere Zeit nachher leuchten.

§ 159. Die Abendröte und das Blau des Himmels.

1. Ursache der **Abend- und Morgenröte** sind sehr kleine, in der Luft schwebende Wassertröpfchen. Luftförmiger Wasserdampf ist farblos, durchsichtig und unsichtbar und verleiht der Luft die gröfste Klarheit und Durchsichtigkeit. Über dem geöffneten Sicherheitsventil einer Lokomotive findet sich aber eine Stelle, wo der ausströmende Dampf anfängt, sich zu verdichten, und sich in überaus kleine Wassertröpfchen verwandelt; sieht man durch diese feinsten Tröpfchen nach der Sonne, so beobachtet man, dafs sie nur orangerote Strahlen durchlassen (die anderen Strahlenarten werden reflektiert), während die höher emporgestiegenen und gröfser gewordenen Tröpfchen weifses Licht durchlassen. Solche sehr kleine Wassertröpfchen bilden sich bei trockener Witterung in den unteren Luftschichten besonders bei Sonnenuntergang und lassen von dem Sonnenlicht, das einen weiten Weg durch dieselben zurückzulegen hat, nur orangerote Strahlen durch. Ist viel Wasserdampf in der Luft, so sind am Abend die meisten Tröpfchen schon gröfser, und das Abendrot ist matt und gelb, ein Vorbote von bevorstehendem Regen.

2. Von der Gröfse und Menge der in der Luft vorhandenen Stäubchen und Wasserteilchen hängt die Farbe des Himmels ab. Wenn die Stäubchen sehr klein sind, so haben sie die Eigenschaft, blaue und violette Strahlen viel stärker zu reflektieren und zu zerstreuen als die Strahlen anderer Farbe, welche durch Luftschichten, die solche kleine Teilchen enthalten, fast ungeschwächt hindurchgehen. Auf hohen Bergen schweben bei heiterem Wetter über dem Beobachter überaus wenig kleine Stäubchen und senden ihm wenig blaues Licht zu; der Himmel erscheint dort fast schwarz. Je gröfser die Zahl dieser allerkleinsten Stäubchen ist, welche die Luft enthält, um so reiner und reicher ist das Blau des Himmels. Sind dagegen in der Luft auch nicht zu kleine Wassertröpfchen vorhanden, so werden auch andersfarbige Strahlen mit zurückgeworfen, und der Himmel sieht weifslich oder grau aus. Das **Blau des Himmels** hat seinen Grund darin, dafs die kleinsten in den höheren Schichten der Atmosphäre schwebenden Staubteilchen blaues Licht zurückwerfen und uns zusenden*).

F. Das Wesen des Lichtes.

§ 160. Die Emissionstheorie und die Undulationstheorie.

Über die Natur des Lichtes standen sich früher zwei Grundansichten gegenüber. Newton begründete (1669) die **Emissions-** oder **Emanationstheorie**, indem er annahm, das Licht sei ein aufserordentlich feiner Stoff, der von den leuchtenden Körpern ausgesendet würde. Die Zurückwerfung des Lichtes sollte ihren Grund in einem elastischen Zurückprallen der Teilchen des Lichtstoffes an undurchsichtigen Körpern haben, die Brechung aber dadurch zustande kommen, dafs die Lichtstoffteilchen von dichteren durchsichtigen Körpern stärker angezogen würden, so dafs sie im dichteren Mittel nach dem Einfallslote hingelenkt werden müfsten und sich im dichteren Mittel rascher bewegten als im dünneren Mittel. Die Verschiedenheit der Farben sollte ihren Grund in der verschiedenen Geschwindigkeit der Strahlen haben. Huygens stellte (1678) den Anschauungen Newtons die **Vibrations-** oder **Undulationstheorie** gegenüber, welche sich in der Folgezeit als die richtige erwiesen hat. Nach dieser Theorie ist das Licht nicht ein Stoff, sondern eine Bewegungserscheinung. Man nimmt an, dafs es einen unwägbaren, überaus feinen und elastischen Stoff, den **Äther** oder **Lichtäther**, gibt, dessen Teilchen sich gegenseitig abstofsen. Derselbe umgibt nicht blofs die Moleküle eines jeden Körpers als eine feine Hülle und hält sie vermöge seiner Elastizität, wie eine abstofsende Kraft, etwas voneinander getrennt, sondern der Äther erfüllt, da wir von den Himmelskörpern Licht erhalten, auch den ganzen Weltraum. Leuchtet ein Körper, so führen seine Teilchen oder Moleküle äufserst rasche, feine Schwingungen aus. Diese Bewegung überträgt sich auf den überall vorhandenen Äther (Licht- oder Weltäther) und verbreitet sich durch ebenso viele Schwingungen der Ätherteilchen mit aufserordentlicher Geschwindigkeit weiter. Die Verbreitung des Lichtes geschieht daher durch eine Wellenbewegung des Äthers.

§ 161. Beugung und Interferenz des Lichtes.

1. **Beugung und Interferenz.** Während sich die Zurückwerfung, die Brechung und die Farbenzerstreuung des Lichtes durch die Emissionstheorie Newtons leidlich befriedigend erklären liefs, versagte sie völlig zur Erklärung einer Erscheinung, die der Italiener Grimaldi 1665 machte, und die man die Beugung des Lichtes nennt. Läfst man in ein dunkles Zimmer durch einen schmalen Spalt eines Fensterladens Sonnenstrahlen mit Hilfe eines aufsen angebrachten Spiegels

*) Vielleicht sind es die Luftmoleküle selbst, welche das blaue Licht reflektieren, zerstreuen und uns zusenden (Lord Rayleigh).

auf einen weifsen Schirm fallen, so zeigt sich erstens die beleuchtete Fläche gröfser, als bei paralleler und geradliniger Fortpflanzung des Lichtes vom Spalte aus zu erwarten war, und ist zweitens an den Rändern mit farbigen Säumen umgeben. Bringt man in das Sonnenlicht einen schmalen, undurchsichtigen Körper, so sieht man um den Schatten desselben farbige Ränder, deren Licht in den Schattenraum hineintritt. Das Licht wird beim Vorbeigehen an einem undurchsichtigen Körper von seinem geraden Wege abgelenkt und verbreitet sich auch hinter den Rand des Körpers. Diese Erscheinung heifst **die Beugung des Lichtes.** Man sieht im Sonnenlicht Spinnengewebe und Augenwimpern mit farbigen Säumen umgeben. Diese Beugungserscheinungen haben unverkennbare Ähnlichkeit mit der Beugung einer Wasserwelle, welche durch die Öffnung einer Wand geht und jenseits derselben (§ 97, 3) breiter wird. Ihre Erklärung findet die Beugung durch das **Huygenssche Prinzip.** Dasselbe sagt aus, dafs jeder von einer Wellenbewegung getroffene Punkt selbst der Ausgangsort einer neuen gleichartigen Wellenbewegung ist. Diese Elementarwellen, welche von jedem Punkte der Wellenbewegung ausgehen, vereinigen sich bei ungehinderter Ausbreitung zu der Wellenbewegung, die wirklich stattfindet. Hindern aber die den Spalt bildenden Wände die kugelförmige Ausbreitung der Hauptwelle (Fig. 338), so fehlen an den Seiten die Elementarwellen, und die aus dem Spalte AB austretenden Elementarwellen verbreiten sich nun kugelförmig hinter dem Spalte, so dafs der breite Lichtschein auf dem Schirme entsteht. Verdeckt man den Spalt, durch den das Sonnenlicht ins dunkle Zimmer tritt, durch ein farbiges, z. B. ein rotes Glas, welches eben nur rote Strahlen hindurchläfst, so bemerkt man zweitens, dafs aufser dem hellen roten Streifen, der in geradliniger Richtung auf dem weifsen Schirm entsteht, zu beiden Seiten dieses Streifens noch eine Anzahl anderer heller Streifen erscheinen, die nach den Seiten zu immer lichtschwächer werden (Fig. 339). Die einzelnen hellen Streifen sind aber durch schwarze Streifen voneinander getrennt. Da die Stellen des Schirmes, an denen diese schwarzen Streifen erscheinen, offenbar ebenso von den verschiedenen Lichtstrahlen getroffen werden müssen, die von dem hellen Spalt ausgehen, wie die Stellen, an denen die hellen Streifen erscheinen, so ergibt sich, dafs Lichtstrahlen, die zusammentreffen, sowohl Helligkeit als auch Dunkelheit erzeugen können. Die Erscheinung wird, wie Thomas Young 1801 bewies, erklärlich, wenn man das Licht als eine Wellenbewegung und die Streifen auf dem Schirm als eine Interferenzerscheinung (§ 97, 2) verschiedener Lichtwellen auffafst.

Fig. 338.

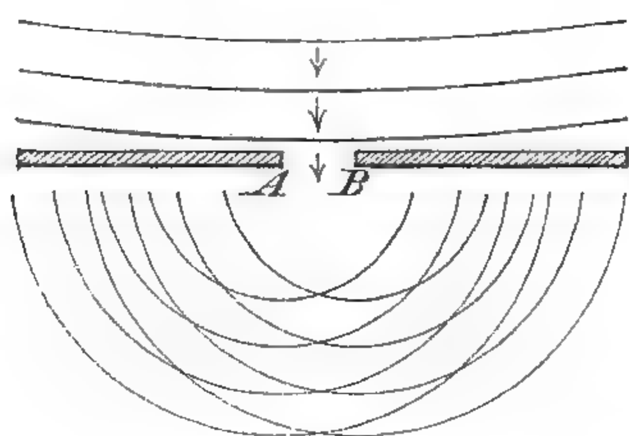
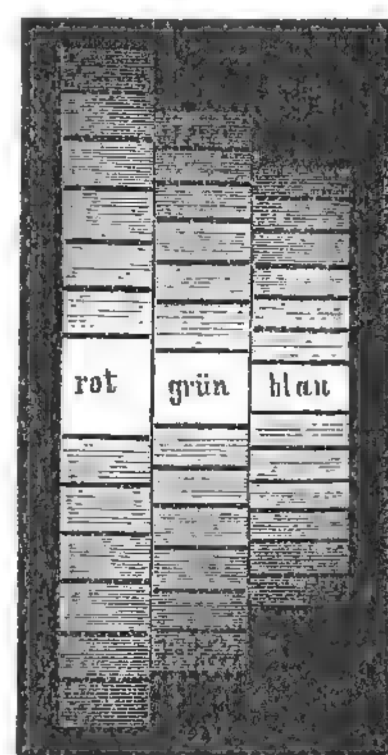


Fig. 339.



Wie sich zwei Wasserwellenzüge, die von nahen Punkten ausgehen, verstärken, wenn Berg auf Berg und Tal auf Tal fällt, sich aber vernichten, wenn Berg auf Tal und Tal auf Berg fällt, so ist es auch mit den Lichtwellen des Äthers. Treffen gleiche Wellen in gleichem Schwingungszustande zusammen, so herrscht Helligkeit. Es ist Dunkelheit, wenn ein Wellental eines Strahles mit einem Wellenberg eines anderen Strahles zusammenfällt, und umgekehrt, so dafs beide Lichtwellen gegenseitig ihre Schwingungen vernichten. Wird statt des roten Glases ein grünes oder blaues benutzt, so liegen die Streifen des Beugungsbildes des Spaltes immer näher aneinander (Fig. 339).

Das kommt daher, daſs die Wellenlänge des grünen Lichtes kleiner ist als die des roten, und die des blauen kleiner als die des grünen.

2. **Interferenzfarben.** Wenn das zusammengesetzte weiſse Licht auf dünne Blättchen von Kollodium, auf Seifenblasen oder Insektenflügel fällt, so wird es sowohl von der Vorderfläche als auch von der Hinterfläche der dünnen Blättchen zurückgeworfen. Dabei können die von der Hinterfläche kommenden Strahlen einer bestimmten Farbe die von der Vorderfläche zurückgeworfenen Strahlen derselben Farbe auslöschen, so daſs die Farbe verschwindet. Die übrig bleibenden farbigen Strahlen bilden dann zusammen eine Mischfarbe, welche das Blättchen unserem Auge zusendet. Bei der Zurückwerfung durch die Vorder- und die Hinterfläche sehr kleiner, fast durchsichtiger Körper kann es aber auch geschehen, daſs zwei gleichfarbige Strahlen **einander verstärken.** Die Wellenberge des einen Strahles treffen mit den Bergen des anderen zusammen, erhöhen dieselben und geben dem Körper seine Farbe, z. B. Blau, während die Ergänzungsfarbe, Orange, durchgelassen wird.

§ 162. Die Undulationstheorie oder Vibrationstheorie und die Polarisation des Lichtes.

1. Die **Undulationstheorie.** Das Licht hat groſse Ähnlichkeit mit dem Schall; beide entstehen durch Schwingungen, der Schall durch Schwingungen von Körpern, das Licht durch die Schwingungen der überaus kleinen Körpermoleküle. Der Schall verbreitet sich durch longitudinale Luftwellen, das Licht durch transversale Ätherwellen. Die Zurückwerfung des Lichtes ist ähnlich der Zurückwerfung der Schallwellen oder der Wasserwellen, die vom Ufer zurückkehren; die Brechung hat ihren Grund darin, daſs der Äther sich in dichteren Körpern langsamer bewegt. Mit den Farben endlich verhält es sich wie mit höheren und tieferen Tönen. Man hat aus Interferenzerscheinungen berechnet, daſs die Wellenlänge des roten Lichtes 69 Hunderttausendstel-Millimeter beträgt, und daſs die Wellenlängen der farbigen Strahlen um so kleiner sind, je gröſser ihre Brechbarkeit im Spektrum ist. Da die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes bekannt ist und rund 300 000 km beträgt und auch die Wellenlängen für die Strahlen der verschiedenen Spektralfarben berechnet worden sind, so läſst sich auch die auf eine Sekunde bezogene Schwingungszahl für die verschiedenen Farben berechnen. Da jede Schwingung eine Welle erzeugt, muſs die auf eine Sekunde bezogene Schwingungszahl einer bestimmten Farbe so groſs sein, als Wellenlängen in 300 000 km enthalten sind.

Für die Wellenlänge von 0,00069 mm der roten Strahlen (Fraunhofersche Linie B) findet sich als Schwingungszahl 435 Billionen; für die Wellenlänge 0,0004 mm der violetten Strahlen (Fraunhofersche Linie H) beträgt die Schwingungszahl 756 Billionen. Violett und Blau, die höchsten Farbentöne, haben die kürzesten Wellenlängen und werden durch die schnellsten Schwingungen hervorgebracht. Rot hat die gröſsten Wellenlängen und die kleinsten Schwingungszahlen der Strahlen des sichtbaren Spektrums. Noch kürzer als die Wellen der violetten Strahlen sind die der unsichtbaren ultravioletten (§ 156, 1, S. 186) und noch gröſser deren Schwingungszahlen. Die ultraroten Strahlen haben längere Wellenlängen als die roten und noch kleinere Schwingungszahlen. Ein weiſser Lichtstrahl ist daher ein auſserordentlich zusammengesetztes Gebilde, in dem gleichzeitig Schwingungen der verschiedensten Wellenlängen und Schwingungszahlen miteinander fortschreiten, so zwar, daſs stets das Produkt aus Wellenlänge und Schwingungszahl ein und dieselbe Gröſse hat, 300 000 km. Die verschiedenen in einem weiſsen Lichtstrahl vereinigten Strahlen sind nicht an sich farbig, sondern wenn sie durch das Prisma getrennt sind, rufen sie erst in unserem Auge und unserem Bewuſstsein infolge ihrer verschiedenen Wellenlängen und Schwingungszahlen die Empfindung der Farben hervor. Aber nur den Ätherschwingungen, deren Schwingungszahlen in einer Sekunde zwischen 400 und 800 Billionen be-

tragen, bringt das Auge die Sehfähigkeit entgegen, Schwingungen des Äthers mit kleineren und gröfseren Schwingungszahlen vermag es nicht wahrzunehmen.

2. **Die Polarisation des Lichtes.** Wenn ein einfarbiger Lichtstrahl unter einem Winkel von 35 ⁰ von einer hinten geschwärzten, spiegelnden Glasplatte zurückgeworfen ist, so zeigt er bei der Zurückwerfung durch einen zweiten Spiegel in verschiedenen Ebenen verschiedene Lichtstärke, die gröfste, wenn der Strahl nachher in derselben Ebene bleibt, und geringere in anderen Ebenen; er erlischt in einer Ebene, die mit der ersten rechte Winkel bildet. Licht, welches in verschiedenen Ebenen verschiedene Lichtstärke hat, heifst polarisiertes Licht. Das gewöhnliche Licht schwingt rechtwinklig zu dem Lichtstrahl in verschiedenen Richtungen oder Ebenen. Bei der Polarisation aber dringt ein Teil des Lichtes in das Glas ein, und nur diejenigen Ätherteilchen werden zurückgeworfen, deren Schwingungen parallel mit der spiegelnden Fläche sind. Die Schwingungen des polarisierten Lichtes sind daher einander parallel und erfolgen in einer und derselben Ebene. Ein zweiter Spiegel kann sie nur vollständig zurückwerfen, wenn seine spiegelnde Fläche mit ihnen parallel ist; bei anderen Stellungen des zweiten Spiegels dringt das polarisierte Licht ganz oder zum Teil in ihn ein. Diese Erscheinungen können nur eintreten, weil die Ätherteilchen transversale oder Querschwingungen ausführen.

III. Erscheinungen der Wärme.

A. Die Erregung der Wärme. (Wärmequellen.)

§ 163. Erregung von Wärme durch mechanische Arbeit.

1. Die auf der Tischplatte geriebene Handfläche empfindet lebhafte Wärme; ein vor das Rad gelegter Hemmschuh kann bei Talfahrt glühend werden; Sägeblätter sowie eine auf dem Fufsboden hin und her bewegte Münze oder eine durch einen aufgesteckten Kork geriebene Stricknadel (Fig. 340) werden heifs. Ungeschmierte Eisenbahnachsen und leergehende Mühlsteine bringen helle Flammen hervor. Durch Reiben zweier Holzstücke verschaffen sich die Wilden, durch Reibung von Zündhölzern Kulturmenschen Feuer: **Reibung erzeugt Wärme.**

2. Metall wird durch Hämmern wärmer; Rammklötze und Handrammen erwärmen sich beim Gebrauch. Der Stofs, der mit Stahl gegen Feuerstein geführt wird, schlägt Stahlteilchen ab und entzündet sie. **Stofs erregt Wärme.**

Fig. 340.

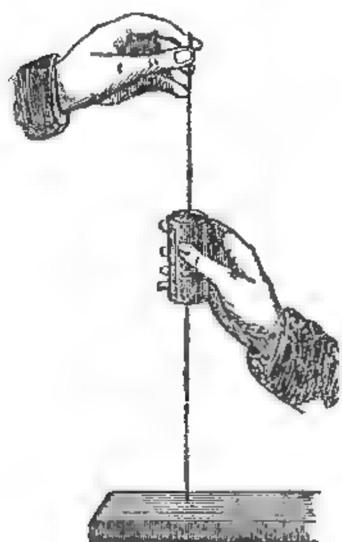
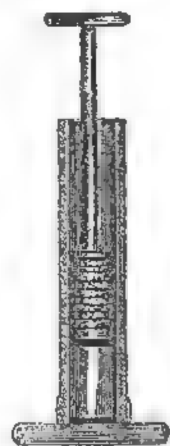


Fig. 341.



3. Das Luftfeuerzeug oder pneumatische Feuerzeug (Fig. 341) ist eine unten verschlossene Metallröhre mit luftdicht passendem Kolben, an dem man unten ein Stückchen Feuerschwamm befestigt. Durch schnelles Niederschieben des Kolbens wird die Luft in der Röhre zusammengedrückt und dadurch so stark erwärmt, dafs der Schwamm glimmend wird*). Beim Prägen werden die Münzen erwärmt. Mit einer Presse zusammengedrückte Gegenstände werden wärmer. **Druck erzeugt Wärme. Wärme wird durch Reibung, Stofs und Druck, überhaupt durch mechanische Arbeit erregt.**

*) Umgekehrt tritt bei der Ausdehnung der Luft, wenn sie einen Widerstand überwindet, eine Abkühlung ein.

§ 164. Erregung von Wärme durch die Sonnenstrahlen.

Die Hauptquelle der Wärme auf der Erde sind die **Strahlen der Sonne**, die wir durch ein Brennglas (§ 148, 1) in einem Punkt so vereinigen können, dafs sie zünden.

Hält man die Hand so, dafs die Sonnenstrahlen rechtwinklig auf dieselbe fallen, so fühlt man einen höheren Wärmegrad als sonst; auf Abhängen, die zu den Sonnenstrahlen nahezu senkrecht stehen, schmilzt der Schnee früher als in der wagerechten Ebene. So lehrt die Erfahrung: **Sonnenstrahlen erregen Wärme, und zwar um so mehr, je steiler sie auffallen**; je weniger steil sie auffallen, desto weniger erwärmen sie eine Fläche.

Die Fläche *AM* (Fig. 342) erhält die gröfstmögliche Strahlenmenge J_0, weil die Strahlen zur Fläche senkrecht einfallen. Die gerade so grofsen Flächen *A'M* und *A''M* erhalten die Strahlen unter den spitzen Neigungswinkeln α' und α'' und empfangen nur die Wärmemengen $J_1 = \frac{3}{4} J_0$ und $J_2 = \frac{1}{2} J_0$.

Fig. 342.

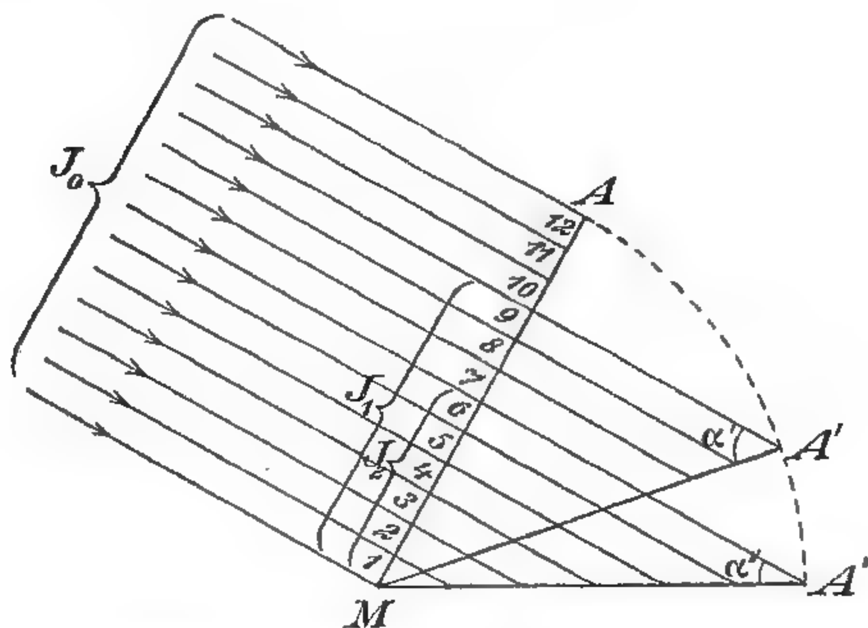
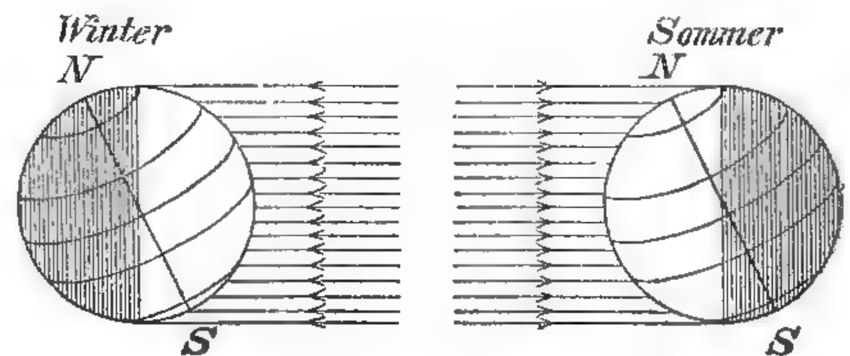


Fig. 343.



Daraus erklärt sich 1) der tägliche Wärmewechsel, weil die Sonnenstrahlen am Morgen und Abend in sehr schräger Richtung, am Mittag aber unter einem gröfseren Winkel zu uns gelangen; 2) der Unterschied von Sommer und Winter; weil während des Sommers die Sonnenstrahlen unter demselben Breitengrade den Boden unter einem gröfseren Winkel treffen und längere Zeit auf ihn erwärmend wirken (Fig. 343), und 3) die Verschiedenheit der Zonen auf der Erde, von denen die heifse lotrecht, die kalten überaus schräg von den Sonnenstrahlen getroffen werden. Die Atmosphäre läfst die erwärmenden Sonnenstrahlen zum gröfsten Teil hindurch und nimmt nur den vierten Teil derselben auf; sie empfängt ihre Wärme vorzugsweise von der Erdoberfläche, welche sie berührt, und die ihr erwärmende Strahlen zusendet; deshalb nimmt die Wärme der Luft im allgemeinen nach oben zu ab. In den Gebirgen beträgt diese Abnahme bei zunehmender Höhe 0,6° für 100 m, während die Luftschiffer für 100 m eine Abnahme von 0,9° beobachtet haben.

§ 165. Erregung von Wärme durch chemische und elektrische Vorgänge.

1. Das Verbrennen von Körpern, also die chemische Vereinigung derselben mit Sauerstoff, erzeugt Wärme. Beim Eingiefsen von Schwefelsäure in Wasser erwärmt sich die Flüssigkeit. Auf Wasser geworfen, verbindet sich Kalium mit dem Sauerstoff desselben und erzeugt so viel Wärme, dafs sich der frei gewordene Wasserstoff entzündet. Bei diesen Vorgängen findet eine chemische Vereinigung verschiedener Stoffe statt. **Wärme wird durch chemische Vorgänge erregt.**

Durch einen solchen Vorgang entsteht auch die Lebenswärme oder tierische Wärme.

2. Elektrische Funken können die Entzündung von Schiefspulver, Blitze Brände zur Folge haben (§ 18, 8). Elektrische Ströme erwärmen ihre Leiter und erzeugen elektrisches Glühlicht und Bogenlicht (§ 33). **Wärme wird durch elektrische Vorgänge erregt.**

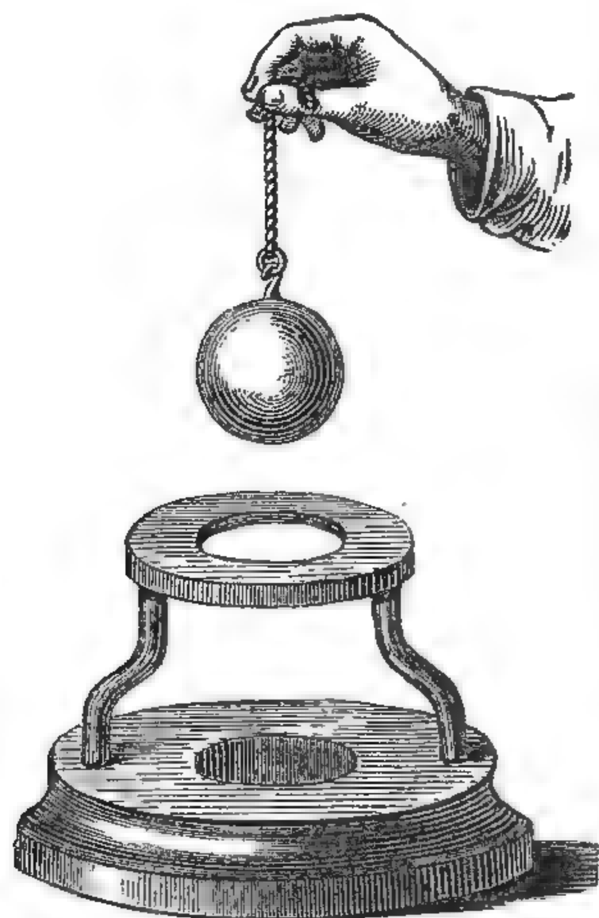
B. I. Erste Hauptwirkung der Wärme.

Ausdehnung der Körper.

§ 166. Ausdehnung fester Körper.

Eine Metallkugel, welche ohne Spielraum durch einen Ring fällt, wird durch Erhitzen so ausgedehnt, dafs sie nicht mehr hindurchsinkt (Fig. 344).

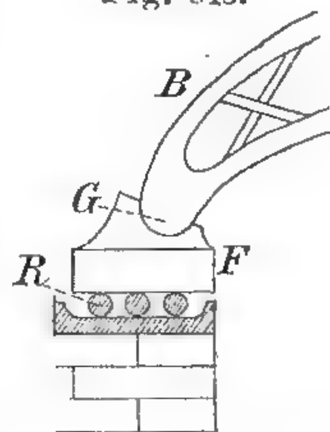
Fig. 344.



Glühende Bolzen füllen die Plätteisen fast aus, obwohl sie kalt kleiner waren. Ein eiserner Wagenreif wird glühend um ein Rad gelegt, zieht sich beim Erkalten zusammen und schliefst fest an. Die festen Körper dehnen sich daher bei Zunahme der Wärme aus und ziehen sich bei Abnahme der Wärme zusammen.

Eisenbahnschienen werden nicht dicht aneinandergelegt, damit sie sich ausdehnen können, die Platten der Zinkdächer werden nicht aneinandergenagelt, damit sie sich ungehindert zusammenziehen und ausdehnen können. Auch bei dem Bau eiserner Brücken mufs Rücksicht auf die Ausdehnung durch Wärme genommen werden. Während sich z. B. der Fufs *F* (Fig. 345) eines eisernen Brückenbogens auf den schmiedeeisernen Rollen *R* ein wenig hin und her bewegen kann, wenn sich der Brückenbogen bei wechselnder Wärme verkürzt oder verlängert, kann sich, zur Vermeidung eines Bruches, der Bogen selbst ein wenig um das Gelenk *G* drehen. Festsitzende gläserne Stöpsel löst man durch Erwärmen des Flaschenhalses. Wird ein Glas auf den heifsen Ofen gestellt, so springt es leicht infolge der ungleichen Ausdehnung.

Fig. 345.



Scheinbare Ausnahmen bilden feuchte Körper, wie Ton, Holz, Leder, Papier, welche bei zunehmender Wärme ihren Wassergehalt in Dampfform abgeben und sich daher zusammenziehen.

§ 167. Ausdehnung flüssiger und luftförmiger Körper.

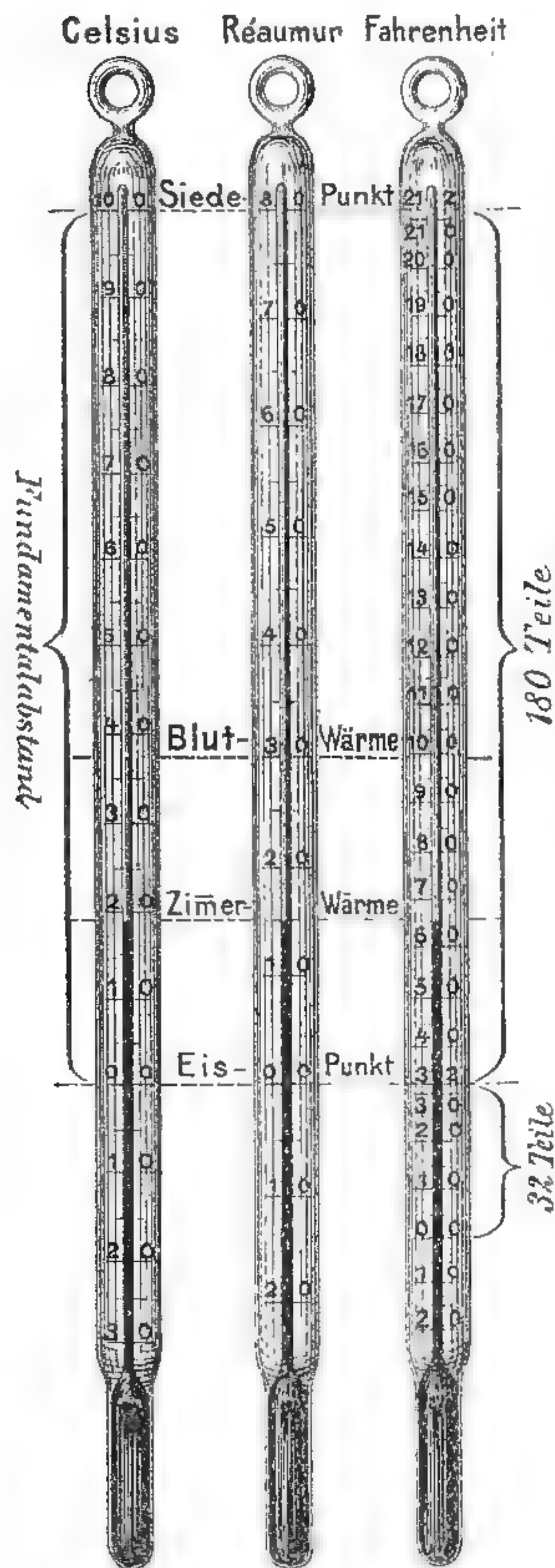
Wenn man durch den Kork einer ganz mit Wasser gefüllten Flasche eine enge Glasröhre schiebt und die Flasche erwärmt, so steigt in der Röhre die sich ausdehnende Flüssigkeit höher. Aus einem gefüllten Kochgefäfs läuft die erwärmte Flüssigkeit über, ehe sie kocht. Eine auf den warmen Ofen gelegte zugebundene Blase schwillt an, weil die darin enthaltene Luft sich ausdehnt. Wenn man eine Kochflasche aus dünnem Glase umgekehrt in ein mit Wasser gefülltes Glasgefäfs hält und die Kochflasche mit der Hand erwärmt, so treten Luftblasen aus der umgekehrten Kochflasche aus, weil sich infolge der Erwärmung die darin abgesperrte Luft ausdehnt. Entfernt man die Hand, so treibt der Luftdruck Wasser in die umgekehrte Flasche, weil sich die Luft in der Flasche wieder zusammenzieht, während sie sich abkühlt.

Gesetz: **Alle Körper dehnen sich bei Zunahme der Wärme aus und ziehen sich bei Abnahme der Wärme zusammen.**

§ 168. Das Thermometer.

1. Das **Thermometer** oder das Instrument zum Messen des Wärmegrades beruht auf der Ausdehnung der Körper durch die Wärme. Dasselbe besteht aus einer verschlossenen, engen Glasröhre von gleicher Weite, die sich unten zu einem Gefäſs erweitert, welches Quecksilber enthält. Dieses flüssige Metall nimmt die Wärme schnell an und dehnt sich bei den gewöhnlich vorkommenden Wärmezuständen regelmäſsig aus. Das Quecksilber ist vor dem Zuschmelzen der Röhre zum Sieden gebracht worden und hat dabei das Gefäſs mit der oben offenen Röhre ganz ausgefüllt. Sobald das Quecksilber die Röhre bis oben füllt, wird diese zugeschmolzen. Bei der Abkühlung zieht sich das Quecksilber zusammen und läſst über sich in der Röhre einen luftleeren Raum. Je gröſser die Wärme ist, um so mehr dehnt sich das Quecksilber aus. Zum Messen der Ausdehnung dient eine an der Röhre angebrachte Skala oder Gradeinteilung. Bei Anfertigung derselben bestimmt man (nach dem Vorgange Fahrenheits, der auch zuerst 1724 Quecksilber statt Weingeist verwandte) zunächst die sogenannten Fixpunkte, d. h. erstens den Punkt, bis zu welchem das Quecksilber steht, wenn das Gefäſs sich in schmelzendem Eis befindet, den Gefrier- oder **Eispunkt.** Zweitens bestimmt man bei einem Barometerstand von 760 mm den Punkt, bis zu welchem das Quecksilber steht, wenn das Gefäſs sich in Dämpfen dicht über siedendem Wasser befindet, den normalen **Siedepunkt.** Den Abstand dieser beiden festen Punkte voneinander, den **Fundamentalabstand**, teilt man in gleiche Teile, welche Grade heiſsen; ebenso groſse Grade trägt man auch über dem Siedepunkt und unter dem Eispunkt auf die Skala. In Deutschland und fast allen Ländern auſser England und Amerika ist jetzt die hundertteilige Thermometerskala eingeführt; früher war vielfach die achtzigteilige in Gebrauch.

Fig. 346.



Die **hundertteilige Skala** wird auch nach dem Schweden **Celsius** (geb. 1701, war Professor in Upsala) benannt. Bei ihr ist der Fundamentalabstand in 100 Grade geteilt; am Eispunkt steht 0, am Siedepunkt 100 (Fig. 346).

Die Grade unter null bezeichnet man durch ein vorgesetztes Minuszeichen. Grade über null bezeichnet man, indem man kein Zeichen oder ein Pluszeichen vor die Zahl setzt. Die Grade des hundertteiligen Thermometers heiſsen Centigrade. —5° C oder —5° bedeutet 5 Centigrade unter null, auch wohl 5 Grad Kälte (nach Celsius). 5° C oder +5° C oder 5° bedeutet 5 Centigrade über null; man sagt auch wohl: 5 Grad Wärme (nach Celsius).

Bei der **achtzigteiligen Skala,** welche von **Réaumur** (geb. 1683 in Larochelle) herrührt, ist der Fundamentalabstand in 80 Grade geteilt; am Eispunkt steht gleichfalls 0, am Siedepunkt 80.

—10° R bedeutet 10 Grad unter null nach Réaumur, 10° R oder +10° R bedeutet 10 Grad über null nach Réaumur (Fig. 346).

In England und Amerika wird meist die **hundertachtzigteilige Skala** oder das Thermometer nach **Fahrenheit** benutzt. Der Fundamentalabstand ist daran in 180 Grade geteilt. Fahrenheit hatte die im Jahre 1709 in Holland beobachtete

grofse Kälte für den Zustand gröfstmöglicher Kälte gehalten und diesen Wärmegrad, bei dem das Quecksilber unter den Eispunkt sank, auch künstlich durch Mischung von Eis, Wasser und Seesalz hergestellt. Von diesem künstlichen Nullpunkt fing Fahrenheit an, die Grade zu zählen. Schmelzendes Eis hat nach Fahrenheit + 32 Grad, siedendes Wasser noch 180 Grad mehr, also 212 Grad.

Weil derselbe Fundamentalabstand bei den drei verschiedenen Skalen in 100 oder 80 oder 180 Grade geteilt ist, so folgt, dafs 100^0 C = 80^0 R = 180^0 F sind. Ein Centigrad ist = $^4/_5{}^0$ R = $^9/_5{}^0$ F. 1 Grad R ist = $^5/_4{}^0$ C = $^9/_4{}^0$ F. 1 Grad F = $^5/_9{}^0$ C = $^4/_9{}^0$ R.

Daraus ergeben sich für die Verwandlung der Thermometergrade in Grade anderer Skalen folgende Regeln. 1. Centigrade mufs man mit $^4/_5$ multiplizieren, um sie in Réaumursche Grade zu verwandeln. 2. Réaumursche Grade mufs man mit $^5/_4$ multiplizieren, um sie in Centigrade zu verwandeln. 3. Von Fahrenheitschen Graden über null mufs man 32 abziehen und den Rest mit $^5/_9$ multiplizieren, um sie in Centigrade zu verwandeln. 4. Centigrade über null mufs man mit $^9/_5$ multiplizieren und 32 zuzählen, um sie in Fahrenheitsche Grade zu verwandeln.

2. **Anwendungen.** Am meisten gebrauchen Ärzte, Naturforscher, Gärtner, Seidenbauer und Bierbrauer das Thermometer. Zur Erforschung der Lufttemperatur im Freien mufs es an der Aufsenseite des Hauses im Schatten aufgehängt werden; die gewöhnliche Winterkälte beträgt bei uns —5 bis —13° C, die Sommerwärme 19 bis 25° C. Die sich ziemlich gleichbleibende Kellerwärme erreicht 11,5°; die Temperatur eines geheizten Zimmers wird zweckmäfsig auf 18° erhalten, die eines warmen Bades auf 30 bis 36°. Die Blutwärme des gesunden menschlichen Körpers beträgt 37,5°. Gefrierendes Wasser und schmelzendes Eis haben 0°; siedendes Wasser hat in einem offenen Gefäfs beim Barometerstand von 760 mm 100°.

3. **Maximum- und Minimumthermometer** dienen gewöhnlich zur Feststellung der letzten höchsten Tages- und niedrigsten Nachttemperatur.

I. Die Instrumente von **Rutherforth** (1794). a) Das Maximumthermometer (Fig. 347) ist ein wagerecht liegendes Quecksilberthermometer, dessen Quecksilberfaden einen leichten Eisenstift vor sich herschiebt. Zieht sich bei eintretender Abkühlung der Quecksilberfaden zurück, so bleibt der Eisenstift liegen und das der Quecksilbersäule zugekehrte Ende des Eisenstiftes zeigt den höchsten Stand an, den das Thermometer vor dem Sinken der Temperatur hatte.

Fig. 347.



b) Das Minimumthermometer (Fig. 348) ist ein wagerechtes Weingeistthermometer, welches in der Flüssigkeitssäule ein leichtes Glasstäbchen enthält. Abends kippt man das Thermometer so, dafs das Glasstäbchen bis zum konkaven Ende der Weingeistsäule kommt. Bei Abkühlung zieht sich der Weingeist zusammen und nimmt infolge der Oberflächenspannung (§ 102, 2) das Glasstäbchen mit. Stoigt nach Sonnenaufgang die Temperatur wieder, so rückt die Weingeistsäule zwar vor, läfst aber das Glasstäbchen liegen. Das von der Thermometerkugel abgewendete Ende des Glasstäbchens zeigt alsdann den niedrigsten Temperaturgrad an, der vor Sonnenaufgang geherrscht hat.

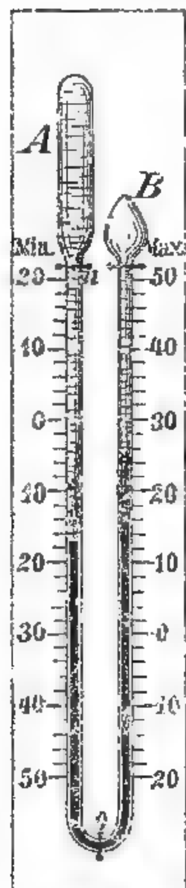
Fig. 348.



II. Das Maximum- und Minimumthermometer nach Six. Eine U-förmige, aufrechte Glasröhre (Fig. 349) enthält im unteren Teile einen Quecksilberfaden. Über dem Quecksilber ist der linke Röhrenschenkel und das ihn oben schliefsende Glasgefäfs *A* ganz mit Alkohol gefüllt, welcher als Thermometerflüssigkeit dient; im rechten Schenkel steht der Alkohol über dem Quecksilber nur bis zur Mitte des im übrigen luftleeren Glasgefäfses *B*, welches oben die Röhre abschliefst. Wenn die Luftwärme zunimmt, drängt der sich ausdehnende Alkohol des Gefäfses *A* den Quecksilberfaden im linken Schenkel nach unten, so dafs er im rechten steigt. Die Quecksilberkuppen zeigen in beiden

Schenkeln die herrschende Temperatur an, welche man entweder links auf der von oben nach unten, oder rechts an der von unten nach oben zu rechnenden Gradeinteilung abliest, die durch Vergleichung mit einem Quecksilberthermometer hergestellt ist. Der im rechten Schenkel nach oben geschobene Quecksilberfaden treibt ein leichtes, im Alkohol eingeschlossenes, gefärbtes Glasstäbchen vor sich her, welches durch leichte Reibung an der Glaswand haften bleibt, wenn der Quecksilberfaden wieder sinkt. Dies geschieht, wenn sich infolge eintretender Abkühlung der Luft der Alkohol im Gefäfs A zusammenzieht. Das untere Ende des Glasstäbchens im rechten Schenkel zeigt daher nachträglich den höchsten Wärmegrad an, wenn die Lufttemperatur wieder sinkt. Wenn der Quecksilberfaden rechts sinkt, so steigt er links und treibt auch hier ein leichtes Glasstäbchen vor sich her. Dies Glasstäbchen im linken Schenkel behält ebenfalls seine Stellung, wenn sich bei steigender Wärme der Alkohol im Gefäfs A ausdehnt und den Quecksilberfaden wieder nach unten treibt. Das untere Ende des Glasstäbchens im linken Schenkel zeigt daher nachträglich den niedrigsten Wärmegrad an, wenn die Lufttemperatur wieder steigt. Nach erfolgter Beobachtung jedes Maximums oder Minimums mufs das betreffende Glasstäbchen wieder zum Quecksilberfaden zurückgebracht werden. Man führt das mit Hilfe eines Magnets aus, dem die Glasstäbchen deshalb folgen, weil in jedes derselben ein kleines Eisenstäbchen eingeschmolzen ist (§ 2, 1).

Fig. 349.



§ 169. Gröfse der Ausdehnung durch die Wärme.

1. **Feste Körper.** Für mancherlei Zwecke ist es nötig, die Gröfse der Ausdehnung zu kennen, die ein fester Körper seiner Länge nach durch die Wärme erleidet. Man legt einen Stab erst in schmelzendes Eis, dann in siedendes Wasser und bestimmt mit feinen Mefsvorrichtungen auf diese Weise erst die Stablänge bei 0° C, dann bei 100° C. Man findet dann, dafs sich ein Stab, der bei 0° C 1000 mm oder 1 m lang ist, bei Erwärmung auf 100° C um folgende Werte verlängert: Platin 0,8 mm, Glas 1 mm, Stahl 1,1 mm, Eisen 1.2 mm, Gold 1,5 mm, Kupfer 1,7 mm, Messing 1,9 mm, Silber 1,9 mm, Blei 2,8 mm, Zink 2,9 mm. Wird der 1 m lange Stab nur um 1° erwärmt, so ist die Verlängerung nur 1/100 dieser Werte. Zwischen 0 und 100° vervielfältigt sich die Ausdehnung (fast genau) wie die Temperatur. Die Zahl, welche angibt, um den wievielten Teil seiner Länge sich ein von 0° auf 1° erwärmter Körper ausdehnt, heifst der **Längenausdehnungskoeffizient.**

Fig. 350.



Die verschiedene Gröfse der Ausdehnung zweier Metalle wird für gute Uhren beim **Rostpendel** benutzt (Fig. 350). Die drei Stäbe E bestehen aus Eisen und bewegen bei Ausdehnung durch Wärme die Pendelscheibe nach unten. Die kürzeren Stäbe Z sind aus Zink und gerade so lang gemacht, dafs das sich stärker ausdehnende Zink die Pendelscheibe so viel hebt, als die Eisenstäbe sie senken. Daher behält das Pendel bei verschiedener Temperatur gleiche Schwingungsdauer (§ 87, 4).

2. **Flüssige Körper.** Auch Flüssigkeiten dehnen sich mit zunehmender Wärme aus, vergröfsern also ihr Volumen. Daher dürfen Fässer mit Petroleum oder Öl nicht ganz gefüllt werden, sondern es mufs oben ein kleiner Luftraum bleiben, weil bei zunehmender Wärme sonst die Fässer gesprengt würden. Die Zahl, welche angibt, um den wievielten Teil ihres Volumens sich eine Flüssigkeit ausdehnt, wenn sie um 1° erwärmt wird, heifst der kubische Ausdehnungskoeffizient der Flüssigkeit. Die Bestimmung desselben ist umständlich, weil die Ausdehnung, die das Gefäfs erleidet, zu berücksichtigen ist. Der Ausdehnungskoeffizient des Quecksilbers ist 0,00018 oder 1/5550 und hat den gleichen Wert für Temperaturen zwischen 0° und 100° C. Für die meisten anderen Flüssigkeiten bleibt der Ausdehnungskoeffizient bei wachsenden Temperaturen nicht derselbe, sondern wird gröfser, z. B. bei Alkohol. Daher eignet sich Quecksilber besonders als Thermometerflüssigkeit.

3. **Luftförmige Körper.** Auch die Bestimmung des (kubischen) Ausdehnungskoeffizienten der Gase ist nicht einfach, weil das Volumen einer Gasmasse nicht nur von der Temperatur, sondern auch vom Drucke abhängt. Ist dafür Sorge getragen, dafs das bei zunehmender Temperatur sich vergröfsernde Gasvolumen immer unter gleichem Druck bleibt, so findet man, dafs die Ausdehnung bei der Erwärmung von 0° auf 100° C für 1° $^1/_{273}$ des Volumens bei 0° ist und für alle Gase denselben Wert hat. Das **Gay-Lussacsche Gesetz** (1787) lautet: Alle Gase dehnen sich, wenn sich der Druck nicht ändert, für jeden Grad Celsius um $\frac{1}{273}$ des Rauminhaltes aus, den sie bei 0° haben. Daher ist bei 273° die Volumzunahme $\frac{273}{273}$ des Volumens bei 0°, oder das Volumen hat sich verdoppelt, bei $2 \times 273°$ ist die Volumzunahme $\frac{2 \times 273}{273}$, also hat sich das Volumen verdreifacht.

Wird nun ein Gasvolumen von 0° erst auf 273°, dann auf $2 \times 273°$ usf. erwärmt, befindet sich aber in einem geschlossenen Raume, so dafs es sich nicht ausdehnen kann, so nimmt das Gas bei 273° nur die Hälfte, bei $2 \times 273°$ nur den dritten Teil des Raumes ein, den es einnehmen würde, wenn es sich unter gleichbleibendem Drucke ungehindert ausdehnen könnte. Das Gas ist also im ersten Falle auf die Hälfte, im zweiten Falle auf ein Drittel seines Volumens zusammengedrückt und mufs daher nach dem Boyle-Mariotteschen Gesetze im ersten Falle die doppelte, im zweiten Falle die dreifache Spannkraft erlangt haben. Es hat also jedesmal die Steigerung der Temperatur um 273° eine Steigerung der Spannkraft um die Spannkraft des Gases bei 0° zur Folge; auf die Temperaturzunahme von 1° kommt daher eine Zunahme der Spannkraft um $\frac{1}{273}$ der Spannkraft des Gases bei 0°. So ergibt das Boyle-Mariottesche im Verein mit dem Gay-Lussacschen Gesetz den **Satz:** Die Spannkraft einer eingeschlossenen Gasmenge wächst bei der Erwärmung für jeden Grad C um $\frac{1}{273}$ derjenigen Spannkraft, welche die Gasmenge bei 0° hat. Bei Abkühlung um 1° C nimmt daher die Spannkraft um $\frac{1}{273}$ der Spannkraft bei 0° ab. Könnte man ein Gas auf —273° abkühlen, so würde es $\frac{273}{273}$ oder die ganze Spannkraft verlieren, die es bei 0° hat, also gar keine Spannkraft mehr besitzen, also kein Gas mehr sein können. Der 273° C unter dem Eispunkt liegende Punkt, bei dem alle Gase aufhören, Gase zu sein, heifst der **absolute Nullpunkt** (bisher künstlich noch nicht hergestellt); die vom absoluten Nullpunkt aus gerechnete Temperatur heifst die **absolute Temperatur.**

§ 170. Das abweichende Verhalten des Wassers.

1. **Eine Ausnahme** von dem Gesetz, dafs sich bei zunehmender Wärme die Körper ausdehnen, **macht das Wasser. Versuch.** Schiebt man durch den Kork einer ganz mit Wasser von Zimmertemperatur gefüllten Flasche ein Thermometer und eine enge Glasröhre, die aus der Flasche hervorragt und sich zum Teil mit Wasser füllt, und stellt man die Flasche in Schnee oder eine Kältemischung (S. 204), so sieht man das Wasser in der Röhre sinken, bis das Thermometer + 4 Grad zeigt; hieraus folgt, dafs sich das Wasser zusammenzieht, wenn es von höherer Temperatur bis auf 4° abgekühlt wird. Bei weiterer Abkühlung bis auf null Grad steigt aber das Wasser in der Röhre wieder, dehnt sich also bei Abkühlung von 4° auf 0° aus. Stellt man dann die Flasche mit Wasser von 0° in lauwarmes Wasser, so sinkt das Wasser in der Röhre, bis das Thermometer wieder +4° zeigt, bei weiterer Erwärmung steigt das Wasser in der Röhre dauernd. Kühlt sich warmes Wasser bis auf 4° ab, so zieht es sich zusammen, kühlt es sich weiter bis auf 0° ab, so dehnt es sich aus; erwärmt sich Wasser von 0° bis auf 4°, so zieht es sich zusammen, bei Erwärmung über 4° dehnt es sich aus. Es gilt der **Satz: Wasser hat bei 4 Grad Celsius seine gröfste Dichtigkeit und daher sein gröfstes spezifisches Gewicht.**

Ferner zeigt das Wasser die Abweichung, dafs es sich beim Festwerden oder Gefrieren ausdehnt. Eis ist bedeutend leichter als Wasser, sonst würde es nicht schwimmen. Die Gewalt, mit der sich das Wasser beim Gefrieren ausdehnt, ist so grofs, dafs es eiserne Gefäfse zu sprengen vermag. Felsen, in deren Spalten sich Eis bildet, werden auseinandergerissen.

2. Jene Ausnahme ist von der gröfsten Wichtigkeit für unsere stehenden Gewässer. Das Wasser unserer Teiche und Seen kühlt sich bei eintretendem Winter hauptsächlich an seiner von kalten Luftmassen berührten Oberfläche ab; das abgekühlte Wasser wird schwerer und sinkt zu Boden; wärmeres steigt an seine Stelle empor, wird ebenfalls abgekühlt und sinkt wieder hinab. Dieses Auf- und Absteigen des Wassers würde fortdauern, wenn das Wasser durch Abkühlung immer dichter und schwerer würde; wenige kalte Tage würden hinreichen, um unsere Gewässer von Grund aus ganz in Eis zu verwandeln und dem Leben der Fische und anderer Wassertiere ein Ende zu machen. Wegen jener Ausnahme aber hört das Auf- und Abströmen des Wassers auf, wenn seine Temperatur bis auf +4 Grad gesunken ist; das noch kältere Wasser wird leichter, bleibt oben und verwandelt sich bald in eine die weitere Abkühlung hindernde Eisdecke, während fast alles übrige Wasser +4 Grad behält.

3. In stehenden Gewässern kann sich daher kein Grundeis bilden; in Flüssen dagegen, in welchen die Strömung Wassermassen von verschiedener Wärme untereinandermischt, kann die Eisbildung, die von festen Punkten aus ihren Anfang nimmt, an den Ufern, an Felsen, Pfählen und auf dem Grunde beginnen. Die auf dem Grunde entstandenen Eisschollen werden, je gröfser sie geworden sind, desto mehr vom Wasser gehoben und endlich losgerissen und nach der Oberfläche geführt; durch anhaftende Steine und Erde verraten sie den Ort ihrer Entstehung. Bald nach dem Treiben des Grundeises frieren die Schollen zusammen, und eine feste Eisdecke hindert das weitere Eindringen der Kälte.

§ 171. Bewegungen in einer Flüssigkeit infolge ungleicher Erwärmung.

Erwärmt man ein Glasgefäfs mit Wasser, unter welches Bernsteinpulver gemengt ist (Fig. 351), so sieht man über der Flamme das Pulver samt dem Wasser emporsteigen. **Wenn die untersten Schichten einer Flüssigkeit erwärmt werden, so steigen sie infolge des Auftriebes empor,** denn sie haben sich ausgedehnt und sind spezifisch leichter geworden. Dagegen sieht man das kühlere und spezifisch schwerere Wasser nahe den Seitenwänden des Gefäfses abwärts strömen. **In einer Flüssigkeit finden, wenn die untersten Schichten derselben erwärmt werden, zwei Strömungen statt, eine wärmere nach oben und eine kältere nach unten gerichtete.**

Fig. 351.

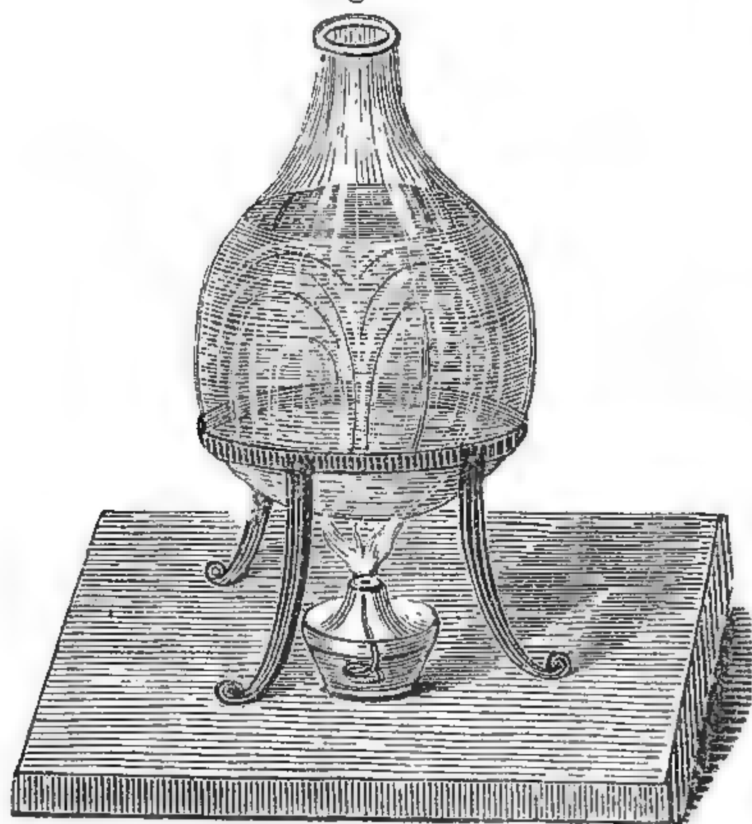
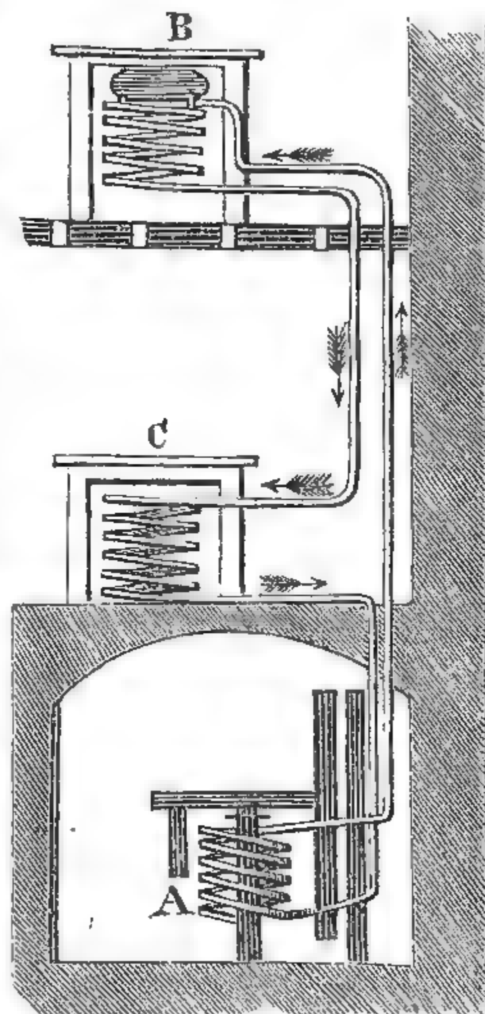


Fig. 352.

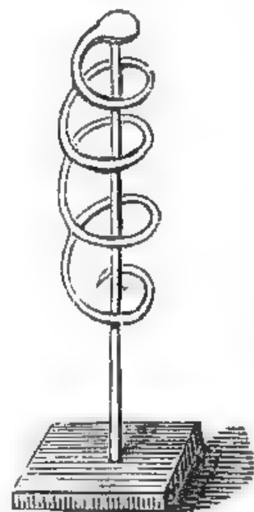


Diese Strömungen oder diese Zirkulation des Wassers hat man zur Heizung der Zimmer durch heifses Wasser angewandt. In dem Erdgeschofs des Gebäudes wird in dem Röhrenkessel *A* (Fig. 352) das Wasser erhitzt; aus demselben führt zu den oberen Stockwerken eine Hauptröhre, aus welcher in beliebigen Windungen eine Röhrenleitung durch die zu heizenden Zimmer abwärts führt bis in den unteren Teil des Kessels; die Füllung geschieht durch die obere Öffnung der Hauptröhre. Das im Kessel erwärmte Wasser ist leichter und stört das Gleichgewicht im Röhrensystem. Das kältere und daher schwerere Wasser in den oberen Röhren sinkt nach unten, tritt in den unteren Teil des Röhrenkessels und treibt das erwärmte Wasser in die oberen Stockwerke hinauf.

§ 172. Bewegungen der Luft infolge ungleicher Erwärmung.

1. Hält man ein Streifchen Goldschaum über eine Flamme oder brennende Lampe, so wird das freie Ende nach oben bewegt; die erwärmte Luft über der Flamme hat sich ausgedehnt, ist spezifisch leichter geworden als die sie umgebende Luftmenge und wird durch den Auftrieb der Luft emporgehoben, man sagt, sie steigt empor. In jedem geheizten Zimmer befindet sich die wärmere Luft oben, ist also emporgestiegen.

Fig. 353.



Man schneidet aus einem runden Stückchen Papier einen spiralförmigen Streifen, formt die Mitte zu einem Hütchen (Fig. 353) und legt dies oben auf eine Stricknadel, die man auf einem Brettchen befestigt hat; die Papierschlange, dreht sich (§ 72), wenn man sie oben neben einen geheizten Ofen hält, weil dort erwärmte Luft emporsteigt. Ebenso dreht sich ein Rädchen aus Glimmerflügeln über einem Lampenzylinder.

Gesetz: **Erwärmte Luft steigt empor.**

2. Stellt man über ein brennendes kurzes Licht, neben welchem zwei Stäbe liegen, einen Lampenzylinder, und bringt man an den untersten Teil desselben einen Streifen Goldschaum, so zeigt dieser durch seine Bewegung an, dafs Luft unten in den Zylinder einströmt. Auf ähnliche Weise entsteht der Luftzug in unseren Öfen, indem die erwärmte Luft in dem Schornstein emporsteigt und kältere Luft durch die Ofentür einströmt. Hält man ein brennendes Licht oben an die etwas geöffnete Tür zwischen einem geheizten und einem kalten Zimmer, so wird die Flamme aus dem warmen Zimmer hinausgeweht; unten an der Tür wird die Flamme in das warme Zimmer hineingeweht; in der halben Höhe ist kein Austausch.

Gesetz: **In einen erwärmten Luftraum strömt unten kältere Luft ein; oben aber strömt die warme Luft in die kälteren Räume.**

3. Eine Anwendung ist **die Luftheizung.** Im Keller ist eine Heizkammer, in welcher die Luft erhitzt wird. Von unten führen Röhren der Heizkammer frische Luft zu, während die erwärmte Luft durch lotrechte Röhren zu den oberen Stockwerken emporsteigt.

B. II. Zweite Hauptwirkung der Wärme.

Die Änderung des Aggregatzustandes.

§ 173. Das Schmelzen.

1. Durch Temperaturerhöhung und weitere Zuführung von Wärme gehen die Körper in einen höheren Aggregatzustand über (§ 74), aus dem festen in den flüssigen und aus dem flüssigen in den luftförmigen, oder sie erleiden eine chemische Zersetzung, wie die Pflanzen- und Tierstoffe.

Ein Thermometer, welches in einer Schüssel mit Eisstückchen steht, zeigt mehrere Grad unter 0, wenn die Temperatur der Umgebung unter 0 ist. Führt man aber der Schüssel Wärme zu, so steigt allmählich die Temperatur des Eises auf 0^0 und dieses fängt dann an, aus dem festen in den flüssigen Zustand überzugehen oder zu schmelzen. **Zum Schmelzen eines Körpers ist zuerst nötig,** dafs er bis zu einem für ihn festbestimmten Grade erwärmt wird. Wenn man das auf 0^0 erwärmte Eis in ein anderes Gefäfs mit schmelzendem Eis bringt, so schmilzt kein Eis mehr. Führt man aber dem Eis mehr Wärme zu, so schmilzt es; seine Temperatur aber bleibt während des Schmelzens unverändert 0 Grad. Der Wärmegrad, bei dem ein Körper schmilzt, und den er während des Schmelzens unverändert beibehält, heifst **der Schmelzpunkt des Körpers.** Zum Schmelzen

ist **zweitens** nötig, dafs dem bis zum Schmelzpunkte erwärmten Körper noch mehr Wärme zugeführt wird.

2. **Jeder Stoff hat einen bestimmten Schmelzpunkt; aber die Schmelzpunkte verschiedener Körper sind sehr verschieden.** Es beträgt der Schmelzpunkt von: Eis 0 Grad, Wachs 64 ^{0}, Zinn 232, Wismut 269, Kadmium 321, Blei 327, Gold 1064, Schmiedeeisen 1400, Platin 1720 Grad Celsius.

Die Mischungen von Metallen oder die Legierungen schmelzen viel leichter als die einzelnen Metalle; so das Schnell-Lot der Klempner (5 Gewichtsteile Zinn, 1 Teil Blei; Schmelzpunkt 195^0), ferner das Rosesche Metall (1 Gewichtsteil Zinn, 1 Teil Blei, 2 Teile Wismut; Schmelzpunkt 94^0), welches in heifsem Wasser schmilzt und benutzt wird, um von hölzernen Formen metallene Abdrücke für das Bedrucken von Papier oder Zeug zu gewinnen, und das Woodsche Metall (2 Gewichtsteile Zinn, 4 Teile Blei, 8 Teile Wismut, 1,5 Teile Kadmium; Schmelzpunkt 70^0).

Die meisten Körper nehmen, wenn sie geschmolzen sind, einen gröfseren Raum ein als im festen Zustande.

3. **Da die Temperatur eines Körpers während des Schmelzens unverändert bleibt,** dient alle einem schmelzenden Körper zugeführte Wärme nur dazu, ihn flüssig zu machen. **Zum Schmelzen wird Wärme verbraucht.** Mischt man rasch 1 kg trocknen Schnees von 0 ^{0} mit 1 kg Wasser von 80 ^{0} C, so erhält man, nachdem der Schnee geschmolzen ist, 2 kg Wasser von 0 ^{0} C. Die ganze Wärme, welche das eine Kilogramm Wasser von 80 ^{0} C besafs, hat nur dazu gedient, 1 kg Schnee von 0 ^{0} zu schmelzen, aber keine Temperaturerhöhung des aus Schnee entstandenen Wassers bewirkt. Die Wärmemenge, welche nötig ist, 1 kg Wasser von 0 ^{0} auf 1 ^{0} C zu erwärmen, heifst eine **Wärmeeinheit** oder **Kalorie.** 1 kg Wasser von 80 ^{0} C enthält also 80 Kalorien oder Wärmeeinheiten. 80 Kalorien sind daher nötig, um 1 kg Schnee oder Eis von 0 ^{0} flüssig zu machen. Die Wärmemenge, welche zur Überführung eines bis auf seinen Schmelzpunkt erwärmten festen Körpers **von 1 kg Gewicht** in den flüssigen Zustand verbraucht wird, heifst die **Schmelzwärme.**

Es beträgt die Schmelzwärme von Eis 80, Zink 28, Zinn 14,2, Blei 5,3, Schwefel 9,4, Phosphor 5, Quecksilber 2,8 Kalorien.

Der Verbrauch von Schmelzwärme hindert das plötzliche Schmelzen des Schnees im Frühjahr, was verheerende Überschwemmungen zur Folge haben würde. Auch bei anderen Überführungen fester Körper in den flüssigen Zustand wird Wärme verbraucht. Darauf beruhen die **Kältemischungen,** Mischungen von Salzen mit Eis oder kaltem Wasser, die beim Schmelzen Kälte hervorbringen. Feingestofsenes Eis mit dem halben Gewicht Kochsalz vermischt, gibt —20^0 C und wird zur künstlichen Bereitung von Eis verwandt.

§ 174. Das Festwerden.

1. **Das Festwerden,** Erstarren oder Gefrieren flüssiger Körper ist der dem Schmelzen entgegengesetzte Vorgang. Setzt man ein Gefäfs mit Wasser über null Grad, in dem sich ein Thermometer befindet, einer Temperatur von mehreren Graden unter null aus, so kühlt sich das Wasser nach und nach auf 0 ^{0} ab und bleibt, während dann die Eisbildung vor sich geht, auf 0 ^{0} stehen, bis das Wasser um das Thermometer völlig gefroren ist. Der Wärmegrad, auf den ein Körper abgekühlt sein mufs, damit er fest werden kann, und den er während des Festwerdens beibehält, heifst der **Erstarrungspunkt.** Der Erstarrungspunkt fällt mit dem Schmelzpunkt zusammen. Damit ein flüssiger Körper fest wird, ist **erstens** nötig, dafs er bis auf seinen Erstarrungspunkt abgekühlt wird. Bringt man Wasser von 0 ^{0} in eine Umgebung von 0 ^{0}, so gefriert es noch nicht, man mufs dem Wasser vielmehr noch weiterhin Wärme entziehen, es also in eine Umgebung unter 0 ^{0} bringen, damit es fest wird. Zum Festwerden ist daher **zweitens** notwendig, dafs dem bis auf den Erstarrungspunkt abgekühlten Körper noch Wärme entzogen

wird. **Die Temperatur der Körper bleibt während des Festwerdens unverändert. Die meisten Körper nehmen, wenn sie fest geworden sind, einen kleineren Raum ein als im flüssigen Zustande.** Aber Wasser, Gufseisen, Antimon und Wismut dehnen sich beim Festwerden aus; diese Stoffe kristallisieren beim Übergang in den festen Zustand, und die Kristalle lassen grofse Lücken zwischeneinander.

2. Nullgrädiges Wasser gefriert nur, wenn ihm durch eine kältere Umgebung fortgesetzt Wärme entzogen wird. Da trotz der Wärmeentziehung die Temperatur des gefrierenden Wassers nicht sinkt, so wird offenbar durch den Vorgang des Gefrierens oder Erstarrens Wärme erzeugt. **Versuch:** Man schmilzt in einem Kochfläschchen etwas unterschwefligsaures (oder essigsaures) Natron. Die ruhig stehende Masse kühlt sich weit unter ihren Erstarrungspunkt von 50 ° C (58 ° C) bis auf Zimmertemperatur ab, ohne zu erstarren; es tritt Erstarrungsverzug oder Überkaltung ein. Ein auf die flüssige Masse geworfenes festes Körnchen des Salzes bringt sie plötzlich zum Erstarren. Die durch den raschen Übergang aus dem flüssigen in den festen Zustand frei werdende Erstarrungswärme ist am Gefäfse stark fühlbar und läfst sich auch am Thermometer, welches im Gefäfs steht, beobachten. **Durch den Übergang eines flüssigen Körpers in den festen Zustand wird Wärme erzeugt. Dieselbe heifst Erstarrungswärme.** Die Wärme, welche beim Schmelzen gebunden wird, wird beim Festwerden wieder frei; die Erstarrungswärme eines Körpers ist daher so grofs wie seine Schmelzwärme.

Das Gefrieren des Wassers zu Eis im Winter macht bedeutende Wärmemengen frei, so dafs der Eintritt strenger Kälte verzögert wird.

§ 175. Die Dampfbildung beim Kochen.

1. Wenn man eine mit Wasser gefüllte Kochflasche von unten erhitzt (Fig. 354), so steigen im Wasser bald Luftbläschen in die Höhe. Ist das Wasser wärmer geworden, so bilden sich am Boden des Glases gröfsere Blasen, die ebenfalls emporsteigen, anfangs aber wieder zergehen, ohne an die Oberfläche des Wassers zu gelangen; dies sind Dampfblasen. Infolge der Wärmezuführung geht Wasser in den luftförmigen Zustand über, dringt in die Luftbläschen ein und vergröfsert sie zu Dampfblasen. Die ersten derselben verlieren während des Aufsteigens in der noch nicht genug erwärmten Flüssigkeit von ihrer Wärme und Spannkraft und werden durch den Luftdruck und das Wasser zusammengedrückt und wieder tropfbarflüssig. Ist aber die ganze Flüssigkeit bei dem Barometerstand von 760 mm bis auf 100 Grad erhitzt, und wird ihr noch Wärme zugeführt, so steigen viele Dampfblasen auf, setzen die ganze Flüssigkeit in wallende Bewegung und gelangen bis zur Oberfläche des Wassers. Die Dampfbildung im Innern einer Flüssigkeit, welche das Aufwallen derselben veranlafst, heifst **das Kochen oder Sieden** der Flüssigkeit. Damit eine Flüssigkeit siedet, ist nötig, dafs sie bis zu einer bestimmten Temperatur erwärmt ist, und dafs ihr dann noch Wärme zugeführt wird.

Fig. 354.



2. Die Temperatur, welche eine Flüssigkeit bei dem Barometerstand von 760 mm besitzen mufs, damit sie in einem offenen Gefäfs siedet, heifst ihr **normaler Siedepunkt.** Der normale Siedepunkt der Kohlensäure ist — 78 °, der schwefligen Säure — 10 °, des Schwefeläthers + 35 °, des Alkohols 78 °, des Wassers 100 °, des

Quecksilbers 357°, des geschmolzenen Zinks 930°. **Jede Flüssigkeit hat einen festen normalen Siedepunkt; aber diese Siedepunkte der verschiedenen flüssigen Körper sind sehr verschieden. Wenn sie in Dampf verwandelt sind, nehmen die Körper einen bedeutend gröfseren Raum ein als im flüssigen Zustande.** Aus einem Liter Wasser von 100° bilden sich 1600 Liter Wasserdampf von 100°.

§ 176. Der Verbrauch von Wärme bei der Dampfbildung.

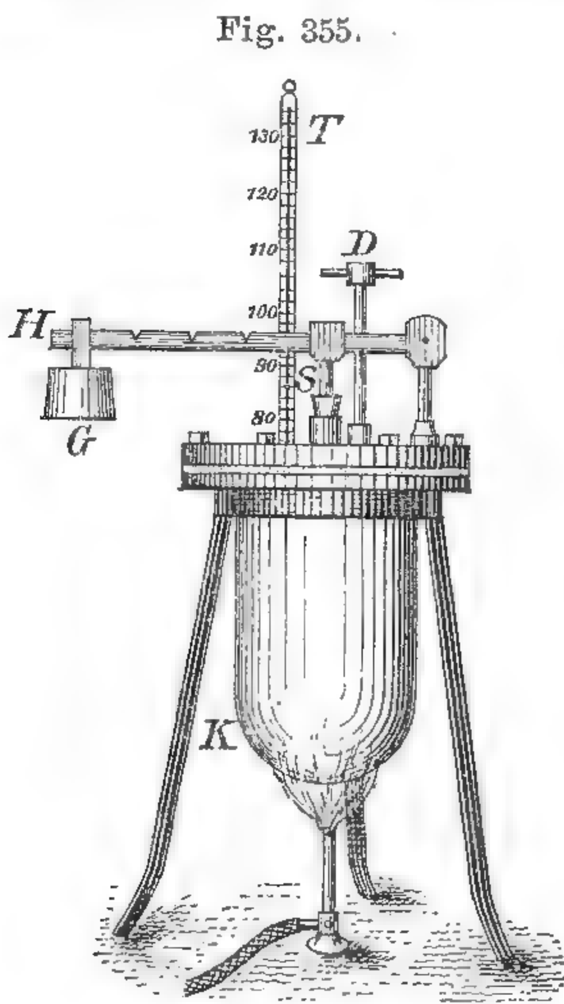
1. Hängt (bei dem Barometerstand von 760 mm) ein Thermometer in einem offenen Gefäfs mit kochendem Wasser, so steigt das Quecksilber bis zum Siedepunkt, aber niemals höher. Eine Flüssigkeit kann in einem offenen Gefäfs nicht über ihren normalen Siedepunkt hinaus erhitzt werden. Ein lebhaftes Feuer macht die kochende Flüssigkeit nicht heifser und ist daher unzweckmäfsig. Da **die Temperatur eines Körpers während des Siedens unverändert bleibt**, dient alle dem siedenden Körper zugeführte Wärme dazu, ihn in Dampf zu verwandeln. **Zur Überführung einer Flüssigkeit in den luftförmigen Zustand oder zur Dampfbildung wird Wärme verbraucht.** Die Wärmemenge, welche zur Überführung einer auf den Siedepunkt erwärmten Flüssigkeit **von 1 kg Gewicht** in den luftförmigen Zustand verbraucht wird, heifst **die Verdampfungswärme.**

2. Erwärmt man 1 kg Wasser von 0° auf 100°, so führt man dem Wasser 100 Wärmeeinheiten zu. Bringt man dann durch die sich gleichbleibende Wärmequelle das siedende Wasser von 100° völlig zur Verdampfung, so erfordert dies etwa $5^1/_3$ mal so viel Zeit, als nötig war, das nullgrädige Wasser auf 100° zu erhitzen. In $5^1/_3$ mal mehr Zeit hat die Wärmequelle aber auch $5^1/_3$ mal mehr Wärme oder 533 Wärmeeinheiten abgegeben; so viel, genauer 539 Wärmeeinheiten sind nötig, 1 kg Wasser von 100° in Dampf von 100° zu verwandeln. **Die Verdampfungswärme des Wassers beträgt 539 Kalorien.** (Äthylalkohol 202, Quecksilber 68 Kal.)

§ 177. Das Sieden bei gröfserem und bei geringerem Druck.

1. Auf einer Flüssigkeit und auf den Dampfblasen, die in derselben entstehen, lastet der Druck der darüber befindlichen Luft. Damit sich die Dampfblasen hinreichend ausdehnen können, mufs ihre Spannkraft so grofs sein wie der äufsere Druck. Ist daher der äufsere Druck gröfser als bei dem Barometerstand von 760 mm, so kocht das Wasser bei 100° noch nicht. Erst bei einem höheren Wärmegrad erlangt der Dampf die erforderliche Spannkraft; deshalb tritt das Sieden erst bei einem höheren Wärmegrad ein. **Je gröfseren Druck die Oberfläche einer Flüssigkeit erleidet, desto höher liegt der Siedepunkt.**

Fig. 355.

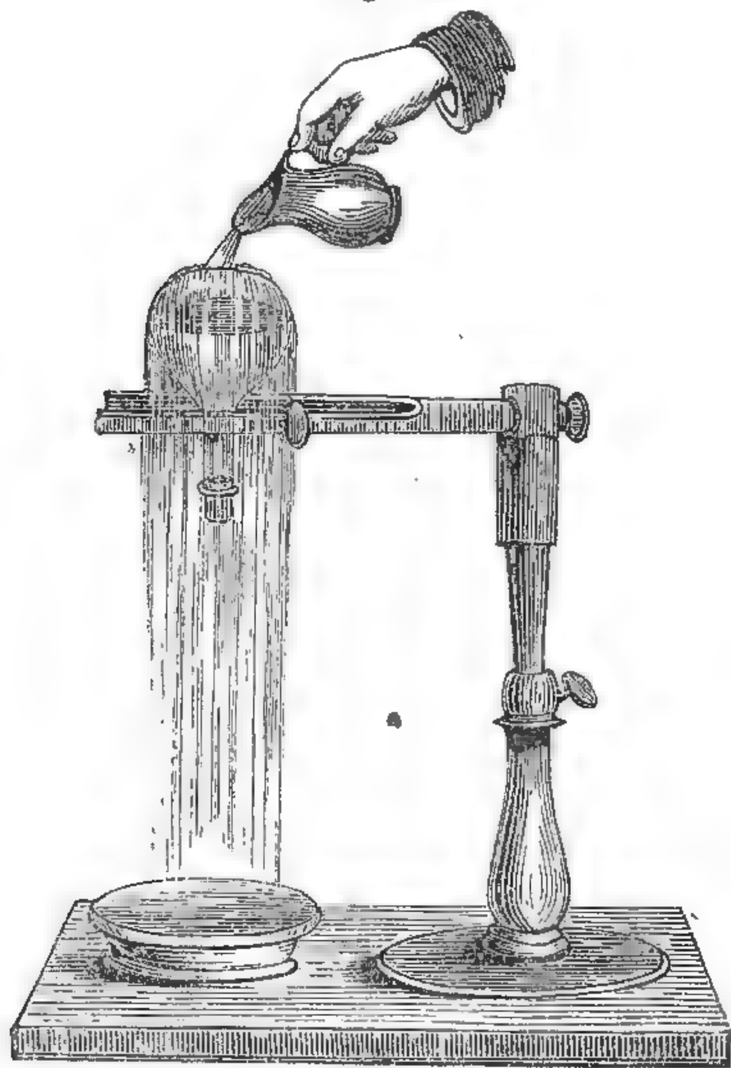


Bedeckt man ein Kochgefäfs mit einem **Deckel**, so sammeln sich zwischen ihm und dem Wasser Dämpfe und erschweren durch ihren Druck die Bildung neuer Dampfblasen; die hinzukommende Wärme geht in das Wasser über, erhöht aber auch die Spannkraft der Dämpfe so, dafs sie den Deckel emporheben und zum Teil entweichen, nachdem das Wasser auf kurze Zeit etwas mehr erwärmt war. Unter starkem, durch Dämpfe hervorgebrachtem Druck läfst sich das Wasser im **Papinschen Topfe oder Digestor** weit über 100° C erhitzen. Dies ist ein vom Professor Papin in Marburg (1681) erfundenes Metallgefäfs (Fig. 355) mit starken Wänden und einem fest aufzuschraubenden Deckel, der, um das Zerspringen des Gefäfses zu verhindern, mit einem Sicherheitsventil *S* versehen ist; Wasser erhitzt sich darin bei 2 Atmosphären

Druck auf 120°, bei 3 Atmosphären auf 133°, so dafs z. B. Knochen zu Brei zerkochen und der in ihnen enthaltene Leim ausgekocht wird.

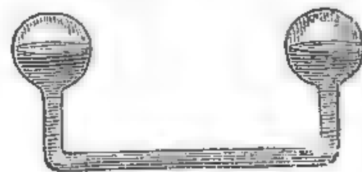
2. **Je geringeren Druck die Oberfläche einer Flüssigkeit erleidet, desto niedriger liegt der Siedepunkt.** Hat man etwas Wasser in einer Flasche gekocht, sie vom Feuer entfernt und zugekorkt (Fig. 356), so gerät das Wasser ins Sieden, wenn man die umgekehrte Flasche mit kaltem Wasser begiefst oder einen mit kaltem Wasser getränkten Lappen darauflegt (Franklin); aus der Flasche ist durch die Dämpfe die Luft vertrieben, und der Druck der Dämpfe wird entfernt, indem man sie durch Anwendung kalten Wassers verdichtet. Lauwarmes Wasser kocht unter der Glocke der Luftpumpe; in den Vakuumpfannen der Zuckerfabriken wird der Zuckersaft bei einer Wärme von 60 Grad eingekocht (§ 115, VI). Die Wärme der Hand ist hinreichend, um den Spiritus im Pulshammer (Fig. 357) zum Wallen zu bringen.

Fig. 356.



Der Pulshammer ist eine an beiden Enden nach oben umgebogene und hier zu Kugeln erweiterte Glasröhre, die Spiritus enthält und vor dem Zuschmelzen durch Kochen desselben luftleer gemacht ist; nimmt man die eine Kugel in die Hand, so steigen Dampfblasen auf, und die Flüssigkeit wird unter lebhaftem Aufwallen in die andere Kugel getrieben. Auf hohen Bergen ist der Luftdruck geringer, und das Wasser kocht deshalb bei einem niedrigeren Wärmegrad als in der Tiefebene; auf dem Montblanc siedet das Wasser bei 85° und auf der Hochebene von Quito in Amerika bei 90°, weshalb das Fleisch dort nur in verschlossenen Gefäfsen gargekocht werden kann. Ein Berg ist desto höher, je tiefer auf ihm der Siedepunkt des Wassers liegt; daher kann man das Thermometer und den Siedepunkt des Wassers benutzen, um die Höhe eines Berges zu bestimmen (Thermobarometer).

Fig. 357.



§ 178. Die Verdunstung.

1. Läfst man eine Schale mit Wasser mehrere Tage lang stehen, so vermindert sich das Wasser immer mehr. Das Wasser verdunstet; es verwandelt sich in Dampf, aber nur an der Oberfläche ohne Aufsteigen von Dampfblasen im Innern der Flüssigkeit. **Die Dampfbildung an der Oberfläche einer Flüssigkeit heifst die Verdunstung.** Manche Flüssigkeiten verdunsten langsam, andere schneller; Spiritus verdunstet schneller als Wasser, Schwefeläther schneller als Spiritus. Auch Eis und Schnee verdampfen langsam bei ziemlich niedriger Temperatur.

2. Feuchte Wege werden allmählich trocken, es mag warm oder kalt sein, und nasse Wäsche trocknet bei jeder Temperatur. **Die Verdunstung findet bei jeder Temperatur statt.** — In einer auf den warmen Ofen gestellten Tasse verdunstet das Wasser schneller als in einer gleichen Tasse, die in einem ungeheizten Zimmer steht. Der Anstrich der Wände trocknet bei höherer Temperatur schneller als bei niedriger. Ferner trocknet Wäsche auf einem Trockenboden schneller, wenn durch Öffnen der Fenster für ausreichenden Luftzug gesorgt ist, und das Regenwasser auf den Strafsen verdunstet bald, wenn Wind auf den Regen folgt. **Die Verdunstung wird** daher **durch Erhöhung der Temperatur und den Luftzug befördert.**

§ 179. Die Verdunstungskälte.

Wenn man um die Kugel eines Thermometers Leinwand wickelt und diese mit Wasser oder Schwefeläther benetzt, so sinkt das Quecksilber; bei der Verdunstung der Flüssigkeit wird Wärme verbraucht, welche der Kugel entzogen wird. In einem Zimmer, dessen Fufsboden nach der Reinigung noch nafs ist, wird die Luft kälter, und nach einem Regen wird es kühler, weil die Wassertropfen beim Verdunsten Wärme verbrauchen. **Durch Verdunstung wird Kälte hervorgebracht, die man als Verdunstungskälte bezeichnet.**

Das Anbehalten nasser Kleider hat eine Erkältung zur Folge, weil der menschliche Körper die Wärme hergeben mufs, um die Feuchtigkeit in Dampf zu verwandeln. Das Trinkwasser bewahrt man in Spanien in porösen Tongefäfsen, den Alkarazzas, auf, an deren Aufsenseite das hindurchsickernde Wasser verdunstet. Wasser läfst sich durch die Verdunstungskälte in Eis verwandeln. Dies geschieht nicht blofs unter der Glocke einer Luftpumpe (§ 115, VII), sondern auch, wenn man in eine unten mit einer Kugel versehene Glasröhre etwas Wasser bringt, die Kugel auswendig mit Schwefeläther benetzt und durch Bewegen derselben die Verdunstung des Äthers beschleunigt. In den Eismaschinen kommen sehr schnell verdunstende Stoffe zur Anwendung, deren Dämpfe durch Luftpumpen entfernt werden. Die gröfste Kälte erregen bei ihrer lebhaften Verdunstung diejenigen Flüssigkeiten, welche man durch Kondensation von Gasen erhält. Läfst man flüssig gemachte Kohlensäure aus ihrem Behälter strömen, so verdunstet ein Teil derselben ungemein schnell und dehnt sich, vom Druck befreit, in hohem Mafse aus; das übrige aber verwandelt sich infolge dieser Vorgänge in eine feste, schneeähnliche Masse, welche die Temperatur —70° hat Kondensiertes Stickstoffoxydul kühlt sich unter der Glocke der Luftpumpe bis auf —140° ab.

§ 180. Die Kondensation.

1. Solange der Wasserdampf warm genug ist, z. B. in einer Kochflasche unmittelbar über kochendem Wasser, so lange bleibt er luftförmig und ist durchsichtig und unsichtbar. **Wird der Dampf abgekühlt, so wird er kondensiert oder verdichtet; er geht in den tropfbarflüssigen Zustand über.** Geschieht die Abkühlung des Dampfes (z. B. über einem Kochgefäfs) durch kältere Luft, so verdichtet er sich zu Nebel und bildet äufserst kleine Wassertröpfchen. Geschieht die Abkühlung des Wasserdampfes durch einen festen Körper, z. B. durch eine über kochendem Wasser befindliche Metallplatte, so setzen sich die Wasserteilchen an denselben, verdichten sich zu Tropfen und fliefsen allmählich zusammen. Wir selbst atmen beständig Wasserdampf aus, der im Sommer luftförmig und unsichtbar bleibt, in kalter Luft aber als Nebel erscheint.

2. Leitet man die beim Kochen des Wassers entstehenden Dämpfe mittels einer Röhre in ein Gefäfs mit kaltem Wasser, so werden sie darin abgekühlt und kondensiert. Dabei entsteht eine solche Wärme, dafs das kalte Wasser zum Kochen gebracht wird. **Durch den Übergang des Dampfes in den tropfbarflüssigen Zustand wird Wärme erregt. Dieselbe heifst Kondensationswärme.** Die Kondensationswärme eines Körpers ist ebenso grofs wie seine Verdampfungswärme. Die bedeutende Gröfse der Kondensationswärme des Wassers (§ 176) wird zur Dampfheizung ausgenutzt, bei welcher sich Wasserdampf in geschlossenen Gefäfsen, die in den Zimmern stehen und als Öfen dienen, kondensiert.

3. **Durch Abkühlung und Druck lassen sich alle luftförmigen Körper kondensieren, oder verflüssigen.** Die **Dämpfe**, das ist die Gasform von Flüssigkeiten, die bei normalem Druck und mittlerer Temperatur vorkommen, werden schon bei nicht bedeutender Abkühlung und Zusammendrückung tropfbarflüssig. Zur Kondensation der **Gase** dagegen ist entweder eine bedeutende Abkühlung oder ein aufserordentlicher, durch Kompressionspumpen hervorgebrachter Druck, meistenteils aber die Anwendung dieser beiden Mittel nötig. Für jedes Gas gibt es eine bestimmte Temperatur, bis zu welcher dasselbe wenigstens abge-

kühlt werden mufs, damit es unter Zuhilfenahme von Druck in den flüssigen Zustand übergeht. Diese Temperatur heifst **die kritische Temperatur** des Gases. Der bei der kritischen Temperatur zur Kondensation mindestens nötige Druck heifst **der kritische Druck.** Die kritische Temperatur der Kohlensäure (des Kohlendioxyds) ist 31 Grad; Kohlensäure von 32 Grad Wärme läfst sich auch durch den stärksten Druck nicht flüssig machen. Ein jedes Gas hat eine fest bestimmte kritische Temperatur und einen bestimmten kritischen Druck; aber die kritischen Temperaturen und die kritischen Drucke der verschiedenen Gase sind sehr verschieden.

Kritische Temperaturen und kritische Drucke einiger Gase:

	kritische Temperatur	kritischer Druck		kritische Temperatur	kritischer Druck
Wasserstoff	—233° C	20 Atm.	Sauerstoff	—119° C	51 Atm.
Stickstoff	—146° „	35 „	Kohlensäure	+31° „	78 „

Liegt der Wärmegrad eines Gases weit unterhalb seiner kritischen Temperatur, so reicht zur Kondensation ein Druck hin, welcher weit kleiner ist als der kritische. Kohlensäure wird flüssig bei 20° durch einen Druck von 56 Atmosphären, bei 0° durch 39 Atmosphären.

Zur **Verflüssigung atmosphärischer Luft** hat Professor Linde in München 1897 ein Verfahren erfunden, welches in einem vielmals wiederholten Wechsel von Druck und Abkühlung besteht. Zuerst wird die Luft in einem eisernen Zylinder durch eine Pumpe auf 50 Atmosphären zusammengedrückt und dann in den Kühlraum geleitet, wo durch eine Kältemischung von Eis und Kochsalz die durch die Verdichtung erzeugte Wärme beseitigt wird, so dafs eine Temperaturerniedrigung bis 0° eintritt. Die abgekühlte Luftmasse tritt unter diesem hohen Druck in eine etwa 100 m lange, spiralförmig gewundene Röhrenleitung, an deren Enden sie, nach Durchgang durch ein Ventil, plötzlich von dem hohen Druck befreit und auf 1 Atmosphäre Druck zurückgeführt wird. Dabei dehnt sie sich bedeutend aus und kühlt sich beträchtlich ab, nämlich für je 4 Atmosphären Druckabnahme um etwas mehr als 1° C, im ganzen um ungefähr 10° C. Von da kehrt die so stark abgekühlte Luft in die Pumpe zurück, umspült aber, in einer weiteren Spiralröhre, dem Gegenstromapparat, strömend, die ersterwähnte Spirale, in welcher die aus der Verdichtungspumpe kommende, auf 50 Atmosphären zusammengeprefste, abgekühlte Luft strömt, diese noch stärker abkühlend, und führt diesen Kreislauf oftmals aus, bis durch die Summierung der Temperaturerniedrigungen die Luft bei —191° C unter gewöhnlichem Atmosphärendruck flüssig wird und als Flüssigkeit abgelassen werden kann.

§ 181. Anwendung des Dampfes zum Kochen, Heizen und Trocknen.

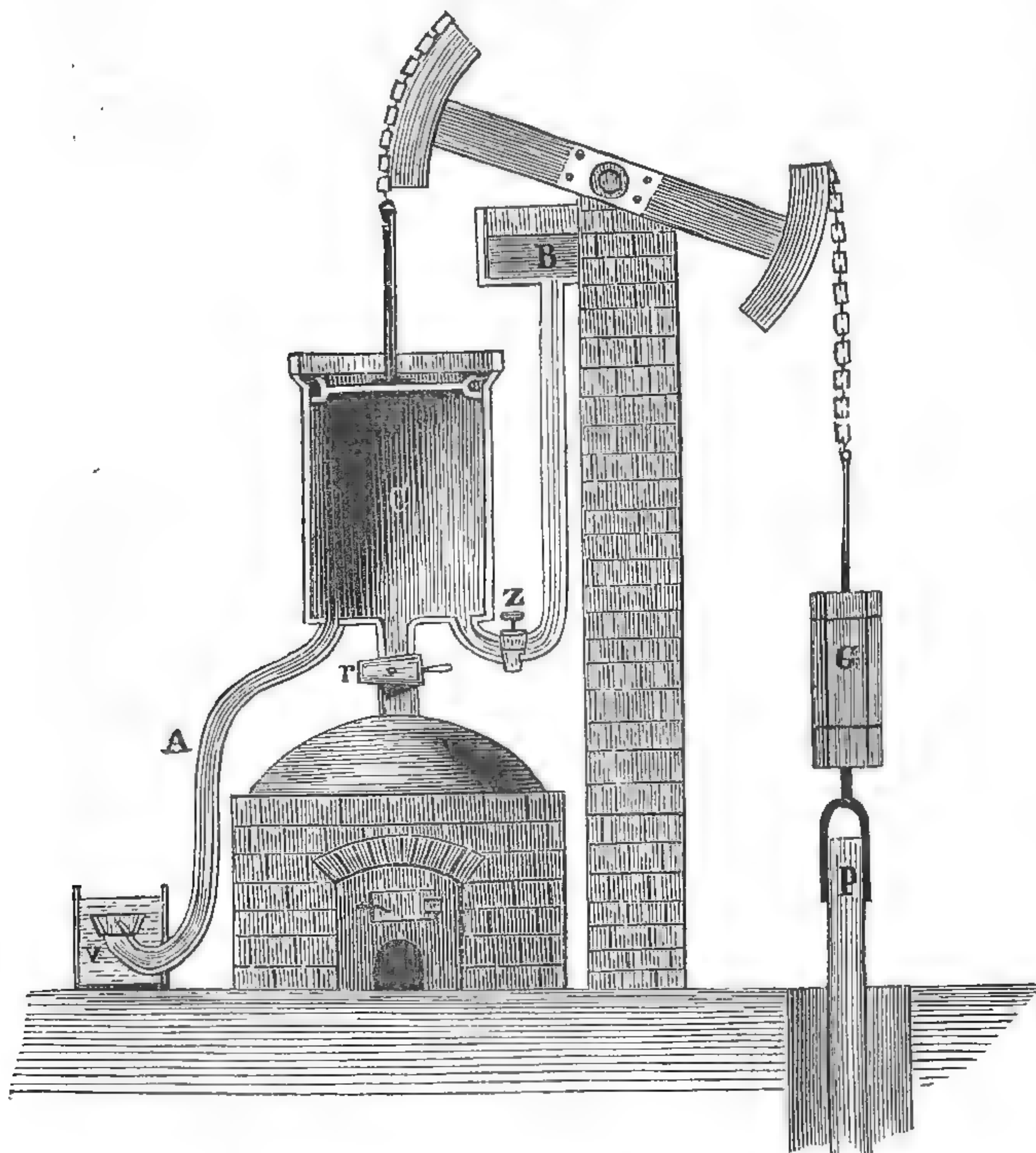
Von dem durch Sieden gewonnenen Wasserdampf benutzt man entweder die **Wärme** oder die **Kondensation**, durch welche ein fast leerer Raum hergestellt werden kann (§ 182), oder die **Spannkraft** (§ 184). Auf der Wärme des Dampfes beruht seine Anwendung zum **Kochen**; die dazu angewandten Gefäfse enthalten unten Wasser und darüber ein Sieb, auf welches die zu kochenden Gemüse gelegt werden. Bei der **Dampfheizung** wird in einem verschlossenen Kessel Dampf entwickelt und gelangt durch eine lotrechte Röhre in die Dampfleitungsröhren oder Wasserbehälter in den Zimmern; der sich verdichtende Dampf entwickelt Kondensationswärme, welche die Zimmer erwärmt; das abgekühlte Wasser fliefst in den Kessel zurück. Auf ähnliche Weise werden Räume geheizt, welche zum Trocknen von gefärbten Stoffen und Schiefspulver bestimmt sind.

§ 182. Die atmosphärischen Dampfmaschinen.

1. Die bei weitem wichtigste Anwendung des Wasserdampfes ist die zur Erzeugung mechanischer Arbeit mit Hilfe der Dampfmaschinen.

Eine Dampfmaschine ist eine zur Erzeugung von Kraft bezw. Arbeit hergestellte Maschine, eine sogenannte Kraftmaschine, durch welche unter Vermittlung der Spannkraft des Wasserdampfes Wärme in mechanische Arbeit verwandelt wird. Die heutigen Dampfmaschinen sind infolge einer ungefähr 200jährigen Entwickelung auf einer außerordentlich hohen Stufe der Vollkommenheit angelangt.

Fig. 358.



2. Die erste Idee zum Bau von Dampfmaschinen mit einem Zylinder und einem darin beweglichen Kolben hat ein 1690 zu Marburg **von dem Professor Papin angestellter Versuch** gegeben. In einem Probierglas bringt man etwas Wasser zum Kochen. Wenn die Dämpfe alle Luft vertrieben haben, schiebt man in den Zylinder einen luftdicht schließenden Kolben und läßt abkühlen; dann sinkt der Kolben hinab. Die Dämpfe im Zylinder werden durch Abkühlung verdichtet; es bildet sich flüssiges Wasser, das nur den 1600sten Teil des vorher von den Dämpfen erfüllten Raumes einnimmt, und es entsteht unter dem Kolben ein leerer Raum; oben aber lastet auf ihm der Druck der atmosphärischen Luft, und dieser bewegt den Kolben hinab.

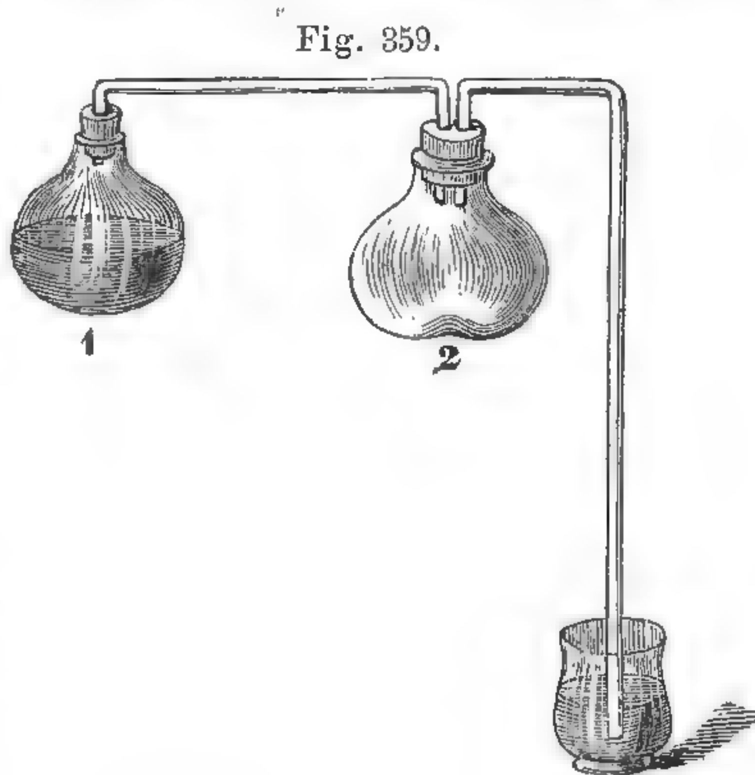
3. Den **Druck der Luft** auf einen durch Verdichtung von Dämpfen erzeugten leeren Raum wandte der Engländer Newcomen 1712 bei der **atmosphärischen Dampfmaschine** an (Fig. 358), welche jedoch, weil sie nicht die Spannkraft des Dampfes verwendete, nur als ein Vorläufer der eigentlichen, von dem Engländer Watt erfundenen Dampfmaschine zu betrachten ist. In einem Feuerraum war ein eiserner **Dampfkessel** eingemauert, aus dem oben das mit einem Hahn *r* versehene **Dampfrohr** hinausführte. Dieses mündete in den **Dampfzylinder** *C*, welcher oben offen war und der atmosphärischen Luft gestattete, abwärts auf den **Kolben** des Dampfzylinders zu drücken. Aus einem höher aufgestellten Wasserbehälter *B* floß kaltes Wasser durch eine Röhre in den unteren Teil des Zylinders, wenn der Hahn *Z* geöffnet wurde. Der Kolben hing an dem einen Ende eines starken **Wagebalkens**, dessen anderes Ende ein Gewicht *G* und die Stange *P* einer Pumpe trug, die durch die Maschine in Bewegung gesetzt werden sollte. Die Schwere des Gewichts und der Pumpenstange zogen, wenn ihnen keine andere Kraft entgegenwirkte, den Kolben in die Höhe.

4. Befand sich der Kolben in dem oberen Teil des Dampfzylinders, so öffnete man den Hahn *r* des Dampfrohrs und ließ Dampf in den Zylinder strömen. Die Luft entwich, wie nachher das kalte Wasser, durch eine Abflußröhre *A*, die in einem Gefäß mit Wasser mündete und darin durch ein sich nach oben öffnendes Ventil verschlossen war. War der Hahn *r* des Dampfrohrs geschlossen, so öffnete man den Hahn *Z* und ließ kaltes Wasser in den Dampfzylinder; die Dämpfe verdichteten sich, es entstand unter dem Kolben ein luftleerer Raum, und **der Luftdruck bewegte den Kolben hinab.** Der Dampf, den man nun wieder in den Zylinder strömen ließ, wirkte kaum stärker als die atmosphärische Luft; aber das Gewicht an dem anderen Ende des Wagebalkens und die Pumpenstange zogen den Kolben wieder empor.

§ 183. Der Kondensator.

Durch das Einspritzen des kalten Wassers in den Dampfzylinder wurde dieser abgekühlt, und es war neuer Dampf nötig, um den Zylinder wieder zu erwärmen; es wurde also Brennmaterial unnütz aufgewandt. Eine Flasche 1 mit etwas Wasser (Fig. 359) ist mittels einer zweimal gebogenen Röhre mit der leeren Flasche 2 verbunden, welche durch eine doppelt gebogene Röhre mit einem langen Schenkel mit der Aufsenluft in Verbindung steht. Wird durch Erhitzung der Flasche 1 Dampf entwickelt, so vertreibt derselbe die Luft aus Flaschen und Röhren und füllt sie mit Dampf an. Senkt man dann den unteren Teil der offenen Röhre der Flasche 2 unter einen Quecksilberspiegel und kühlt die Flasche 2 durch Einsenken in kaltes Wasser ab, so verdichtet sich der Dampf in beiden Flaschen, was man daran wahrnimmt, dafs, wegen des entstandenen leeren Raumes, der Luftdruck das Quecksilber in der langen Röhre in die Höhe treibt. Der Dampf nimmt also in einem geschlossenen Raum diejenige Form an, welche dem kältesten Teile desselben entspricht. Um den im Dampfzylinder verbrauchten Dampf zu verdichten, braucht man also nicht den Dampfzylinder selbst abzukühlen, sondern ein mit ihm verbundenes, verschlossenes Gefäfs, den von Watt 1765 erfundenen **Kondensator.**

Fig. 359.



§ 184. Dampfkessel. Dampfzylinder und einfache Schiebersteuerung.

1. Der Erfinder der eigentlichen Dampfmaschine ist der Engländer Watt, welcher den Dampfzylinder an beiden Enden verschlofs und anstatt des Druckes der Luft die Spannkraft des Dampfes zur Bewegung des Kolbens im Dampfzylinder benutzte. Auch die sehr vervollkommneten Dampfmaschinen der Gegenwart beruhen im Grunde auf Watts Erfindungen.

Während jedoch die Dampfmaschinen Watts sogenannte Niederdruckmaschinen waren, welche unter Benutzung eines Kondensators (S. 218) nur einen Dampfdruck von 1,3 Atmosphären, also von 1,3 kg auf 1 qcm der Kolbenfläche (§ 111, 5) verwendeten, baut man heute nur noch Dampfmaschinen für hohe Dampfspannungen, sogenannte Hochdruckmaschinen. Das erste Erfordernis zum Betriebe einer Dampfmaschine ist der Dampfkessel.

2. **Der Dampfkessel** ist ein grofses, geschlossenes Gefäfs, in welchem Wasser so stark erwärmt werden kann, dafs der Dampf eine hohe Spannkraft erhält. Wird Wasser in einem offenen Gefäfse erhitzt, so ist die Spannkraft der entstehenden Dampfblasen beim Sieden des Wassers nur ein wenig gröfser als der Druck der Atmosphäre, und die Temperatur des Wassers steigt nicht über 100 ° C. Erhitzt man aber Wasser in einem geschlossenen Kessel (§ 177, 1), so steigt seine Temperatur weit über 100 ° C, und der entwickelte Dampf erhält eine sehr hohe Spannkraft.

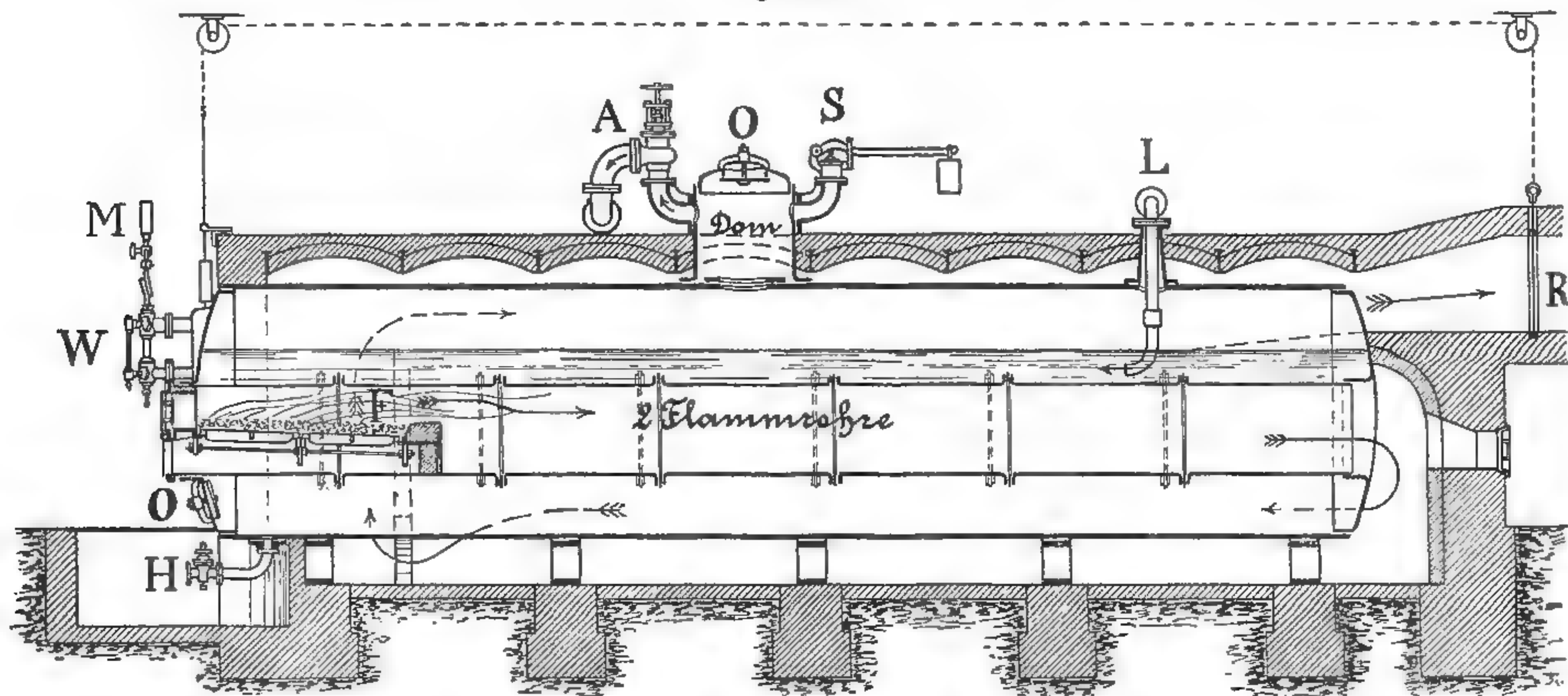
Es beträgt der Dampfdruck (abgerundet):

bei	100 ° C	1 Atm.	bei	160 ° C	6 Atm.
„	120 ° „	2 „	„	180 ° „	10 „
„	145 ° „	4 „	„	200 ° „	16 „

Der Dampfkessel kann, je nach der Maschine, für welche er dienen soll, verschiedene Form haben. Häufig hat er die Gestalt eines an beiden Enden geschlossenen

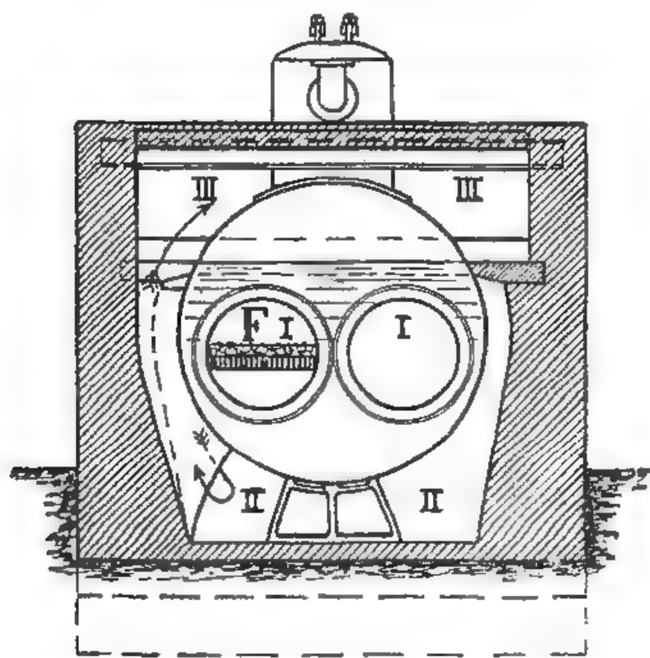
Zylinders und besteht aus zusammengenieteten schmiedeeisernen Platten. Er ist so eingemauert, daſs er eine möglichst groſse Heizfläche hat, d. h. daſs die Heizgase der Feuerung das Kesselwasser an möglichst vielen Stellen erwärmen können. Zu diesem Zwecke führen durch den Kessel ein oder mehrere ziemlich breite Rohre, sogenannte Flammrohre, die gewöhnlich die Feuerungsanlage in sich enthalten. Fig. 360a stellt einen derartigen Kessel mit zwei Flammrohren

Fig. 360 a.



in der Längsansicht und Fig. 360b denselben Kessel im Querschnitt dar. Der Querschnitt ist auf der linken Seite so geführt, daſs er den hinteren Teil des Rostes im Flammrohr schneidet; auf der rechten Seite schneidet der Querschnitt ein wenig hinter dem Roste. Jedes der beiden Flammrohre hat vorn einen Rost für die Feuerung *F* und führt so durch den Kessel hindurch, daſs die von der Feuerung nach hinten abziehenden Heizgase das Wasser, welches im Innern des Kessels die Flammrohre völlig umgibt, gehörig erwärmen können.

Fig. 360 b.



Die hinten aus den Flammrohren austretenden heiſsen Gase umstreichen alsdann die äuſsere Kesselwand, nach vorn ziehend, auf der unteren Seite, steigen vorn empor und ziehen schlieſslich oben über die äuſsere Kesselwand nach hinten. (In der Querschnittzeichnung ist die Aufeinanderfolge dieser Wege mit I, II, III bezeichnet.) Zuletzt gelangen die Heizgase nach dem Schornstein; der nach dem Schornstein nötige Luftzug läſst sich durch den Rauchschieber *R* regeln. Da der zum Betriebe der Dampfmaschine nötige Dampf keine Wasserteilchen enthalten, also trocken sein soll, wird er in dem obersten, kuppelförmigen Raume des Kessels, dem sogenannten Dampfdom, gesammelt und von hier aus durch das mit einem Absperrventile *A* versehene Dampfrohr nach der Maschine geleitet, welche er bewegen soll.

Statt der weiten Flammrohre können auch viele enge Heizrohre als Abzüge für die Heizgase durch den Kessel hindurchführen, er heiſst dann ein Heizrohrkessel. Der Kessel der Lokomotive (Fig. 366, 367) ist eine Vereinigung eines solchen und eines Flammrohrkessels. Besteht ein unter dem Hauptkessel liegender Teil des Kessels aus vielen engen, mit Wasser gefüllten und auſsen von den Heizgasen umspülten Wasser- oder Siederohren, so heiſst der Kessel ein Wasserrohr- oder Siederohrkessel.

Sicherheitsvorrichtungen am Dampfkessel: 1. das Wasserstandsrohr *W*, ein lotrechtes Glasrohr, in welchem das Wasser ebenso hoch steht wie im Kessel; 2. zwei Probierhähne, von denen der untere, wenn man ihn öffnet, Wasser liefern mufs; 3. das Manometer *M*, eine auf Federkraft beruhende Vorrichtung, welche mittels eines Zeigers die Gröfse des Dampfdruckes im Kessel in Atmosphären angibt; 4. zwei Sicherheitsventile *S*, flache, mit einer ringförmigen Rippe versehene Metallteller, welche, durch ein Gewicht oder eine Feder hinabgedrückt, eine Öffnung des Kessels ganz verschliefsen, aber Dampf ausströmen lassen, sobald die Spannkraft im Kessel zu grofs wird.

3. **Der Dampfzylinder** und **die Schiebersteuerung** sind insofern der wichtigste Teil der Dampfmaschine, weil durch diese Maschinenteile der aus dem Kessel ausströmende Dampf zur Arbeit gezwungen wird, so dafs sich die Maschine in Gang setzt. Die Dampfmaschinen heifsen stehende oder liegende, je nachdem der Dampfzylinder aufrecht steht oder wagerecht liegt. Bei stehenden Dampfmaschinen befindet sich der Dampfzylinder stets oben; Fig. 361 und 362 stellen den Dampfzylinder einer stehenden Dampfmaschine dar. Der inwendig völlig glatt ausgedrehte Zylinder *Z* ist oben und unten verschlossen; in demselben befindet sich der auf und ab bewegliche Kolben *K*, welcher luftdicht an die innere Zylinderwand anschliefst und an der ebenfalls luftdicht durch die Stopfbüchse S^1 hindurchführenden Kolbenstange *k* befestigt ist. Der Dampf gelangt aus dem Kessel

Fig. 361.

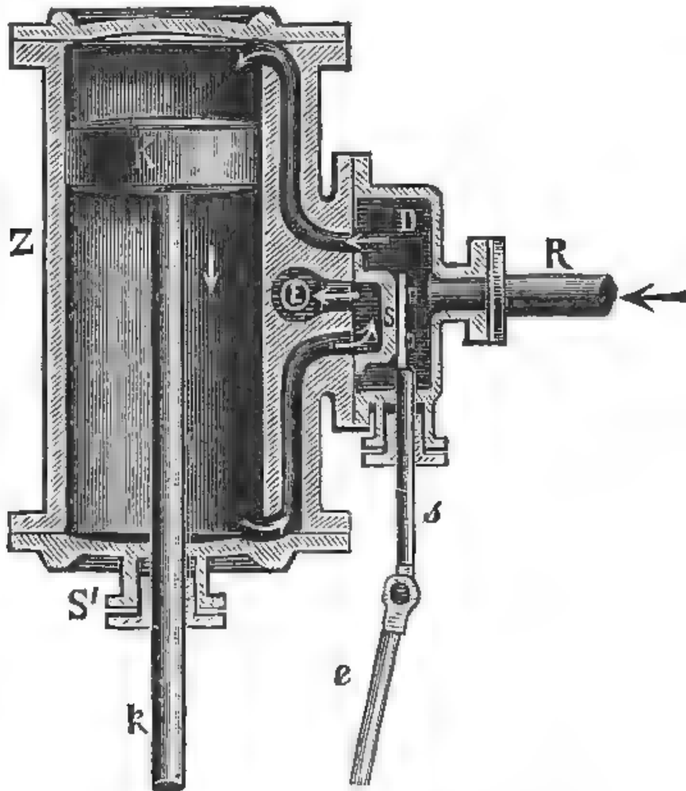
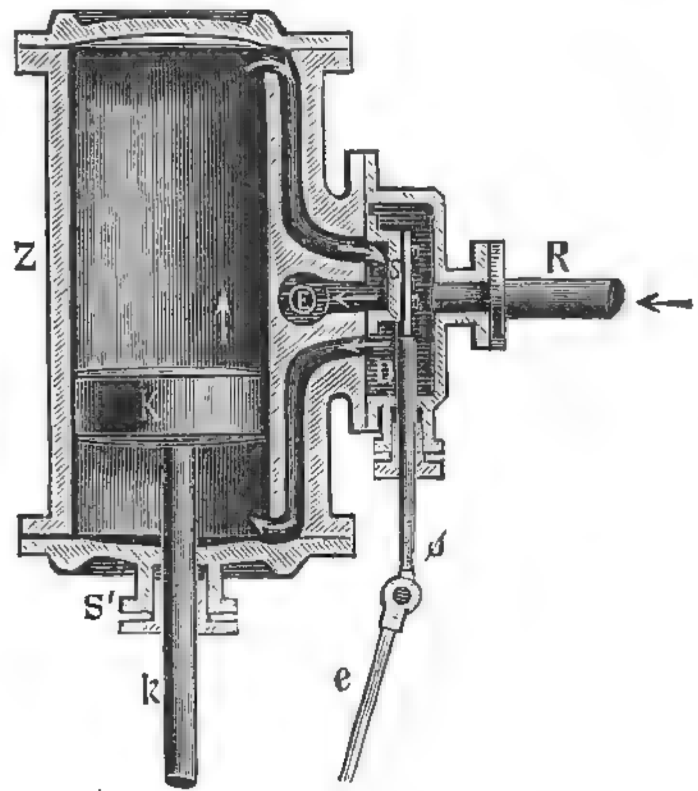


Fig. 362.



durch das Dampfrohr *R* zunächst in die dicht neben dem Dampfzylinder gelegene **Dampfkammer** *D*, auch Steuerkammer oder Schieberkasten genannt, von wo aus zwei breite Dampfkanäle wie Rohre nach dem Dampfzylinder gehen; der obere Dampfkanal führt in den obersten Teil des Zylinders, über dem Kolben *K*; der untere Dampfkanal mündet im untersten Teile des Dampfzylinders, unter dem Dampfkolben. Schliefslich befindet sich zwischen den Einmündungen dieser Dampfkanäle in die Dampfkammer eine dritte Öffnung *E*, von wo aus ein röhrenförmiger Kanal in die freie Luft oder in den Kondensator führt. In der Dampfkammer ist der an der Schieberstange *s* befestigte auf und nieder gehende Schieber *S* angebracht. Der Schieber *S* ist (im einfachsten Falle) ein hohles Kästchen, welches nur an der dem Dampfzylinder zugekehrten Seite offen ist und dort genau an die Wand der Dampfkammer anschliefst. Dieser Schieber dient dazu, den frischen Dampf abwechselnd auf die obere oder untere Seite des Dampfkolbens *K* zu leiten und in jedem Falle zugleich dem verbrauchten Dampfe, der seine Arbeit schon geleistet hat, den Weg nach aufsen zu öffnen. In Fig. 361 hat der Schieber seine **untere Stellung**; infolgedessen ist der obere Dampfkanal für den einströmenden Dampf frei, der Dampf tritt in den Raum über dem Kolben und treibt diesen nach unten; dabei entweicht der unter dem Kolben befindliche, verbrauchte Dampf durch

den unteren Kanal, das Innere des Schiebers und die Öffnung *E* nach aufsen. Die nach unten bewegte Kolbenstange *k* dreht mit Hilfe einer Kurbel die Maschinenwelle *W* (vgl. Fig. 364), auf welcher eine exzentrische Scheibe so angebracht ist, dafs durch deren Vermittlung der Schieber *S* mittels der Stangen *e* und *s* in seine **obere Stellung** gelangt, welche in Fig. 362 dargestellt ist: Der frische Dampf tritt unter dem Kolben ein, treibt diesen nach oben, und der über dem Kolben befindliche, verbrauchte Dampf entweicht durch den oberen Dampfkanal und das Innere des Schieberkastens durch die Öffnung *E* nach aufsen. Kurz bevor der Kolben oben angelangt ist, hat die Maschinensteuerung selbsttätig den Schieber wieder in die untere Stellung gebracht, und die beschriebenen Vorgänge wiederholen sich von neuem. Um zu verhindern, dafs sich der Dampf durch Abkühlung im Zylinder zu Wasser verdichtet, mufs der Zylinder entweder mit schlechten Wärmeleitern umhüllt werden (vergl. Fig. 364), oder er erhält als Umhüllung einen hohlen Raum, einen Dampfmantel, der mit Frischdampf geheizt wird.

§ 185. Die Dampfmaschine.

Eine Dampfmaschine hat folgende Hauptteile: 1. den Dampfzylinder mit dem Kolben, 2. die Steuerung (Schiebersteuerung, oder Ventilsteuerung oder Hahnsteuerung), 3. das Kurbelgetriebe, bestehend aus Kolbenstange, Kreuzkopf, Pleuelstange und Kurbel, 4. die Geradführung, 5. die Hauptwelle mit einem Schwungrad und exzentrischen Scheiben, 6. den Regulator, welcher den Zutritt des Dampfes regelt, 7. unter geeigneten Umständen einen Kondensator, 8. das Gestell oder den Rahmen.

Die Dampfmaschine der Gegenwart unterscheidet sich von der Dampfmaschine früherer Zeiten hauptsächlich dadurch, dafs vom Kessel her ausschliefslich Dampf von hoher Spannung verwendet wird, und dafs die dem Dampf innewohnende Spannkraft möglichst ausgenutzt wird. Hierzu ist eine Steuervorrichtung erforderlich, welche es ermöglicht, den Zutritt des Dampfes zum Dampfzylinder zu unterbrechen, wenn der Kolben erst einen kleinen Teil seines Weges im Dampfzylinder zurückgelegt hat und gerade so viel Dampf eingetreten ist, dafs dessen Spannkraft oder Expansivkraft genügt, um den Kolben mit der nötigen Kraft durch den Zylinder zu bewegen. Man nennt solche Maschinen Expansionsmaschinen, im Gegensatz zu Maschinen ohne Expansion. Fig. 363, 364 stellt eine stehende Dampfmaschine neuer Bauart mit der, nach ihrem Erfinder genannten, Ridersteuerung dar. Der Dampfzylinder *Z* liegt oben, und die sich in den Wellenlagern drehende Maschinenwelle *W* mit dem darauf festgekeilten Schwungrad *S* liegt tief, wodurch das unvermeidliche Bestreben der Welle und des Schwungrades, sich, aufser der Drehung um die Achse, noch ein wenig exzentrisch zu bewegen, möglichst unschädlich gemacht ist.

Der Dampf strömt durch das Dampfrohr *R* in den dicht neben dem Dampfzylinder *Z* liegenden geräumigen Schieberkasten oder die Dampfkammer *D* (Fig. 363, 364) von wo aus, gerade wie beim Dampfzylinder mit einfacher Schiebersteuerung, zwei Dampfkanäle *I*, *II* nach dem Zylinder führen. Durch den oberen Kanal *I* tritt der frische Dampf über den Kolben *K* und treibt ihn nach unten; während dieser Zeit dient der untere Kanal *II*, im Vereine mit der Ausströmungsöffnung *O*, zur Abführung des verbrauchten Dampfes nach aufsen. Gestattet die Stellung der Schiebervorrichtung in der Dampfkammer dem frischen Dampfe den Eintritt in den unteren Kanal *II*, so bewegt sich der Kolben *K* nach oben, und der verbrauchte Dampf entweicht durch den oberen Kanal *I* und die Öffnung *O* nach aufsen. In der Dampfkammer liegt dicht an den Einmündungsstellen der Dampfkanäle der **Grundschieber** *G* (Fig. 364), welcher in seinem linken Teile dem einfachen Steuerschieber der Fig. 361 nicht unähnlich ist; nur enthält er aufser dem nach links offenen Schieberkästchen, welches dem verbrauchten Dampfe den Weg nach aufsen öffnet, oben und unten je einen kurzen Dampfkanal, von denen der obere den Einströmungsweg des in den oberen Zylinderteil geleiteten frischen

Dampfes, der untere, bei geeigneter Stellung des Grundschiebers, den Einströmungsweg für den frischen Dampf in den unteren Zylinderteil bildet*). Die gröfsere rechte Seite des Grundschiebers G bildet einen lotrechten, hohlen Zylinder aus Gufseisen, in dessen inneren Raum die erwähnten kurzen Dampfkanäle schlitzförmig einmünden. In diesem oben und unten offenen Hohlzylinder des Grundschiebers befindet sich, dicht anschliefsend, aber leicht verschiebbar, ein zweiter, unten und oben offener, gufseiserner Hohlzylinder E, der sogenannte **Expansionsschieber** (vergl. Fig. 364 rechts), der an den Enden mit schrägen Kanten derart versehen ist, dafs er dem aus dem Schieberkasten D in das Innere des Expansionsschiebers eingetretenen Dampfe den Weg zu den Dampfkanälen des Grundschiebers und damit zum Dampfzylinder Z selbst mehr oder weniger offen hält, je nach der Stellung, die der Expansionsschieber zum Grundschieber gerade einnimmt. Der Grundschieber G und der Expansionsschieber E sind je an einer lotrechten, eisernen Schieberstange s und s^1 befestigt, welche dampfdicht durch die untere Wandung des Schieberkastens hindurchführen und mit zwei anderen Stangen e und e^1 gelenkartig verbunden sind. Jede dieser beiden Stangen e und e^1 steht in fester Verbindung mit dem Kopfe eines gufseisernen Ringes r bezw. r^1, von denen jeder eine auf der Welle W befestigte exzentrische Scheibe so umfafst, dafs sich die Scheibe innerhalb des Ringes drehen kann. Diese exzentrischen Scheiben sind so auf der Welle befestigt, dafs ihr Mittelpunkt nicht mit der Wellenachse zusammenfällt. Dreht sich die Welle, so drehen sich die Scheiben mit, und infolge davon geraten die die Scheiben umfassenden Ringe r und r^1 und mit ihnen die Exzenterstangen e und e^1 in eine pendelnde, zugleich auf und nieder gehende Bewegung. Letztere Bewegung überträgt sich auf die Schieberstangen s und s^1 und ist die Ursache für die auf und nieder gehende Bewegung des Grundschiebers und des Expansionsschiebers in dem Schieberkasten, durch welche die Zuführung des frischen Dampfes in den Dampfzylinder und die Ableitung des verbrauchten Dampfes aus demselben in erster Linie geregelt wird. Da die Exzenterscheiben des Grund- und Expansionsschiebers auf der Welle W eine etwas ungleiche Stellung haben, so bewegen sich die beiden Schieber nicht gleichartig auf und nieder, sondern der Expansionsschieber eilt dem Grundschieber voraus. Dieses Vorauseilen des Expansionsschiebers vor dem Grundschieber bewirkt, dafs der Expansionsschieber den Einströmungskanal des Grundschiebers bereits schliefst, wenn der Kolben erst einen Bruchteil seines Weges (etwa $^1/_5$) im Zylinder zurückgelegt hat. Die „Füllung" des Zylinders mit hochgespanntem Dampfe beträgt dann nur einen Bruchteil der möglichen Vollfüllung, und der Kolben legt daher, nach Abschlufs der Dampfzuführung, seinen Weg im Zylinder lediglich unter Einwirkung der Expansivkraft des Dampfes zurück.

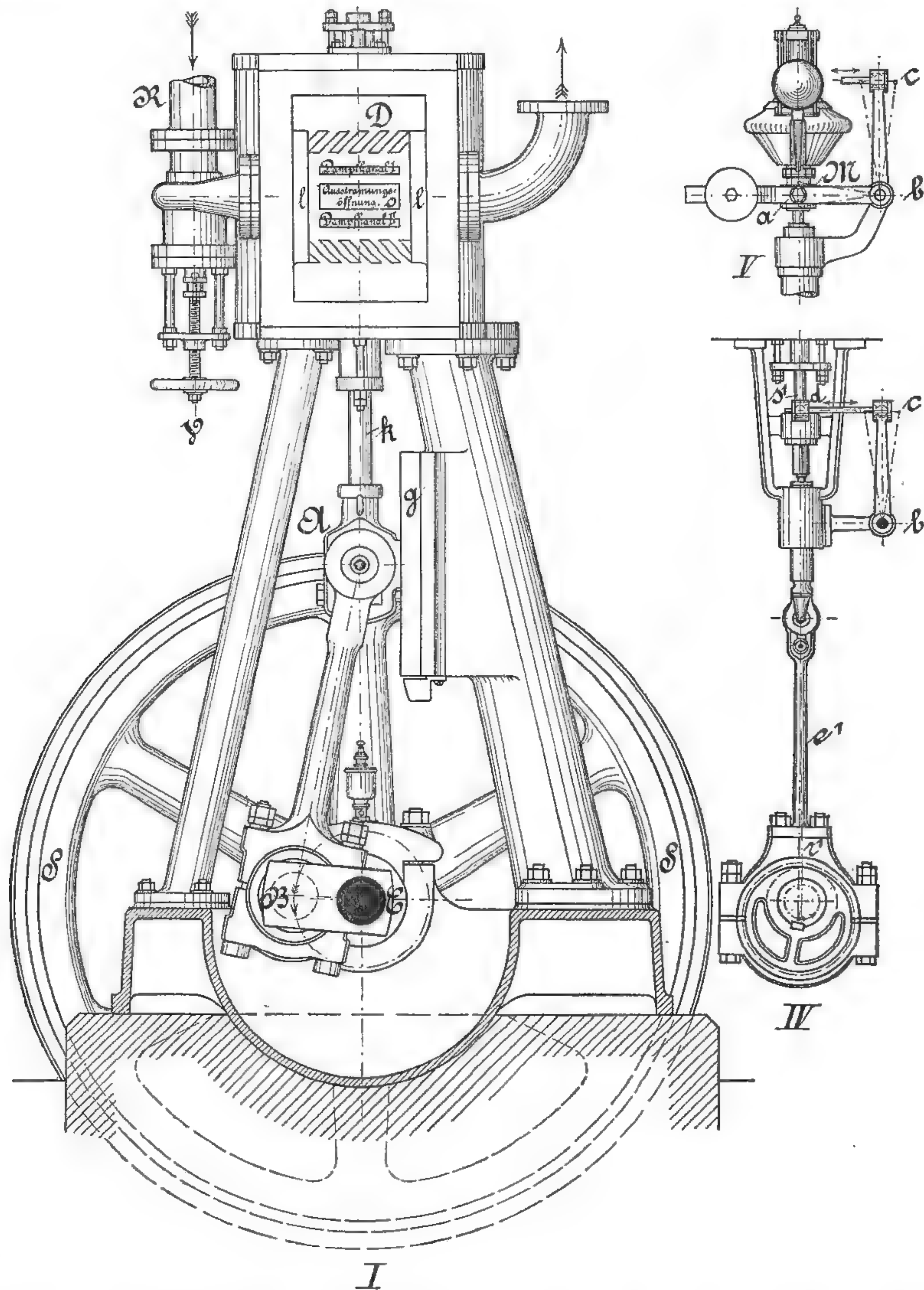
Gleichwie der Einströmungskanal abgeschlossen wird, bevor der Zylinder mit Dampf gefüllt ist, wird die Ausströmungsöffnung O geschlossen, bevor aller verbrauchte Dampf entweichen konnte. Der ankommende Kolben prefst den zurückgebliebenen Dampf zusammen, dessen Spannkraft alsdann die Arbeit des neu eintretenden frischen Dampfes unterstützt. Hierdurch wird bewirkt, dafs die Bewegungsumkehrung des

*) In Fig. 363 ist das Innere des Schieberkastens unter Weglassung der Schieber dargestellt. Man sieht die Mündungen des oberen und unteren Dampfkanals und die innere Öffnung des Ausströmungsweges von vorn. ll ist die Geradführung des Grundschiebers, während die Zacken über und unter dem ebenen Schieberspiegel vertiefte Rillen andeuten, in denen sich Dampf befindet, auch wenn der Schieber darübersteht. Der Druck, welchen dieser Dampf auf den Schieber ausübt, hebt einen gleichen Dampfdruck von der Gegenseite her auf und vermindert daher die Schieberreibung. Der Handhebel F in Fig. 364 dient dazu, Schwungrad, Welle, Kurbel und Kolben, wenn die Maschine steht, so zu stellen, dafs die Kurbel aus ihrer lotrechten, wirkungslosen Lage entfernt wird, da die Maschine sonst, trotz des Zutritts von Dampf in den Zylinder, nicht angeht.

Kolbens allmählich und nicht stoßweise vor sich geht; infolgedessen ist der Gang der Maschine ruhiger.

Der Gang der Maschine gestaltet sich, wie folgt. Ist Dampf von hoher Spannkraft durch den Expansionsschieber *E*, die oberen Öffnungen des Grundschiebers *G* und den oberen Dampfkanal *I* des Zylinders in den Raum über dem Kolben gelangt, so

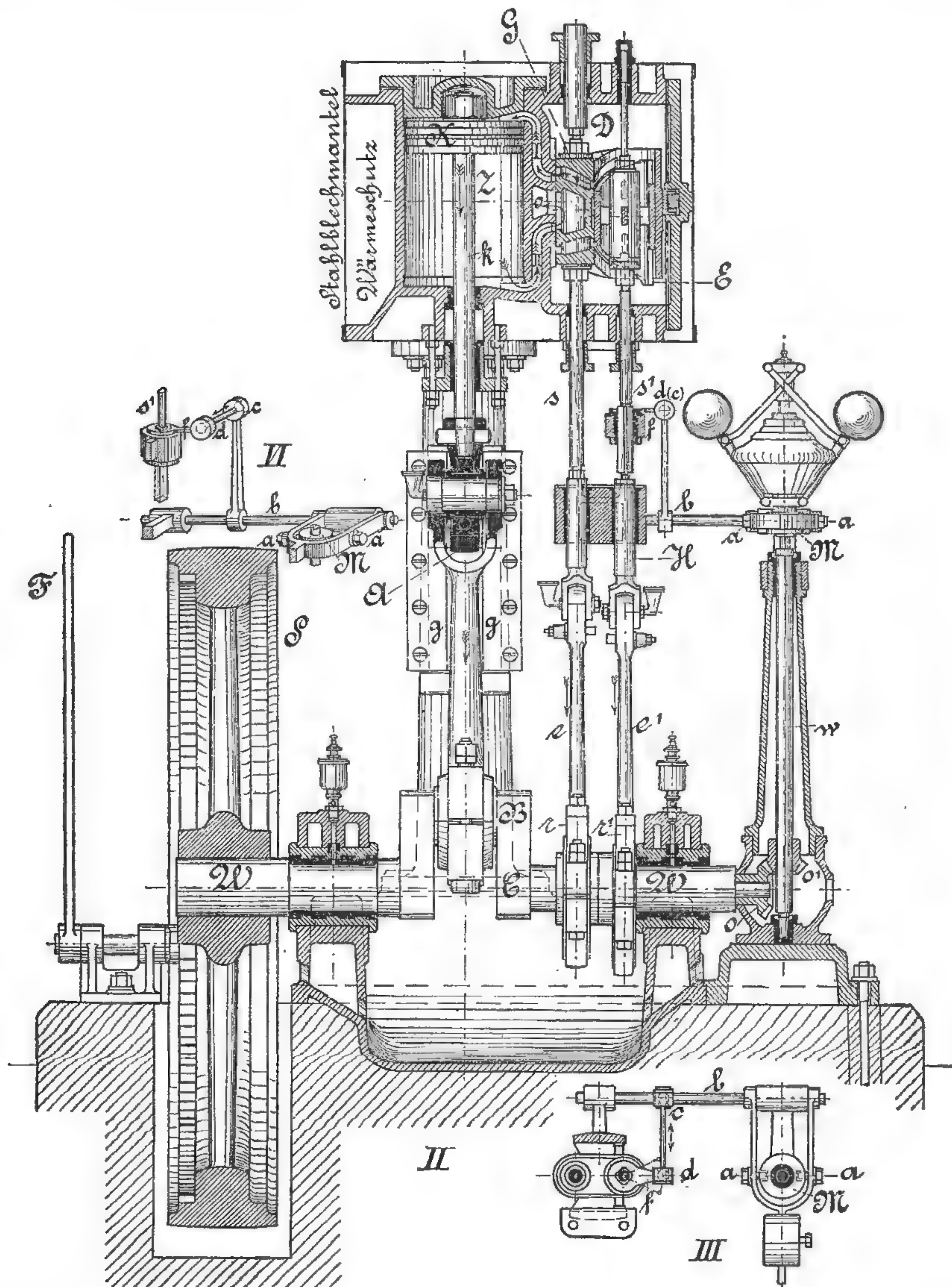
Fig. 363.



bewegt sich der Kolben *K* mit der Kolbenstange *k* nach unten. Die Kolbenstange *k* drückt aber den Kreuzkopf *A*, der sich mittels eines Gleitschuhes in der lotrechten Geradführung *g* bewegt und mit der Pleuelstange *AB* gelenkartig verbunden ist, hernieder. Das untere Ende *B* der Pleuelstange greift an dem äußeren Ende *B* der Kurbel *BC* (Fig. 363, 364) an und setzt mittels der

Kurbel die Welle W und das **Schwungrad** S in drehende Bewegung. Ist der Kolben K unten im Zylinder angelangt, so sind die Kurbel BC und mit ihr die Welle W, das Schwungrad und die exzentrischen Scheiben um 180^{0} gedreht worden. Die exzentrischen Scheiben haben durch Vermittlung der sie umfassenden

Fig. 364.

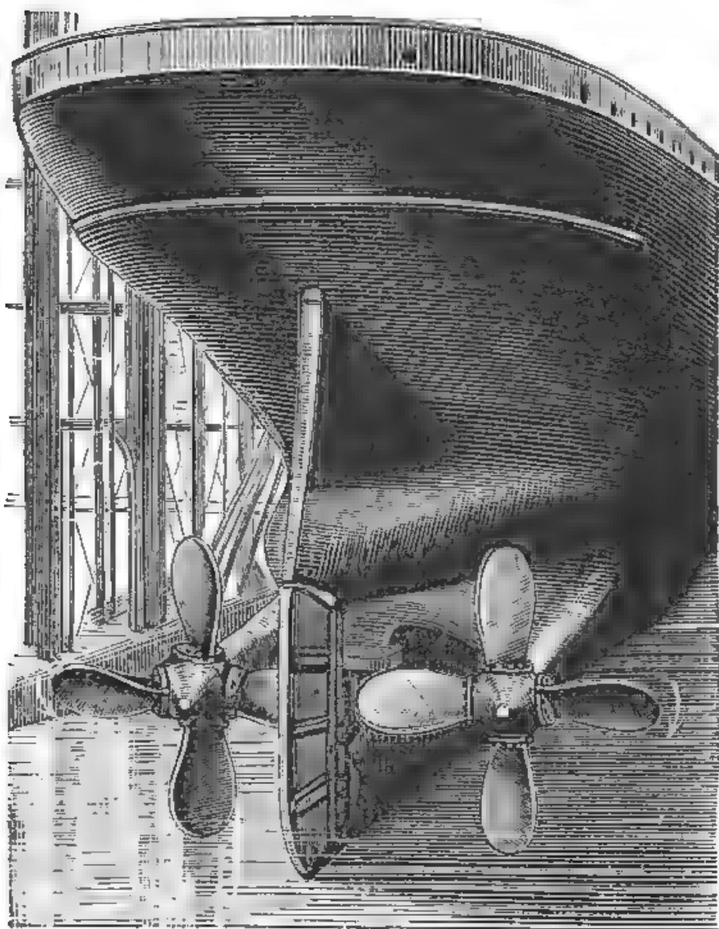


Ringe r und r^1 sowie der Exzenterstangen e und e^1 und der Schieberstangen s und s^1 den Grundschieber G und den Expansionsschieber E in eine solche Stellung im Schieberkasten gebracht, daſs der frische Dampf unter den Kolben K treten muſs und ihn emportreibt. Ist der Kolben wieder in seiner obersten Stellung angelangt, so haben Kurbel, Welle, Schwungrad und exzentrische Scheiben abermals

eine Drehung um 180° gemacht, also vom Beginne der Bewegung an eine volle Umdrehung zurückgelegt, die Schieber in dem Schieberkasten haben wieder ihre erste Lage, und das Spiel beginnt von neuem. Jedesmal, wenn der Kolben in seiner obersten oder untersten Lage angelangt ist, ändert er seine Bewegungsrichtung, mufs also für einen Augenblick ruhen; in diesem Zeitpunkte ist auch die Kurbel wirkungslos, sie befindet sich in ihrer Totlage und erteilt der Maschine keinen Bewegungsantrieb. Über den Ruhepunkt des Kolbens und die Totlage der Kurbel hilft wegen des Beharrungsvermögens die lebendige Kraft der bewegten Maschinenteile hinweg, hauptsächlich die Schwungkraft des Schwungrades, welches auch im übrigen regelnd auf den Gang der Maschine einwirkt.

Die drehende Bewegung der Maschinenwelle *W* wird mittels der Kegelzahnräder *O* und *O'* der lotrechten Welle *w* mitgeteilt, welche oben den **Zentrifugalregulator** trägt, der sich mit der Welle *w* um seine lotrechte Achse dreht. Kommt, wegen zu hoher Dampfspannung, oder weil die Maschine geringere Arbeitsleistung zu vollbringen hat, der Kolben in eine schnellere Bewegung, so überträgt sich dieselbe vermittels der Welle *W* und der Kegelräder *O* und *O'* auch auf den Regulator. Infolge hiervon suchen sich die Kugeln des Zentrifugalregulators von der Drehachse *w* zu entfernen und heben daher sich und die Hülse *M* empor (Fig. II, III, V, VI), welche das Ende *a* des um die feste Achse *b* drehbaren Winkelhebels *abc* mit sich emporzieht. Dies verursacht, dafs das Ende *c* des Hebelarmes *bc* nach rechts in Fig. IV und V, nach hinten in Fig. II und VI ausweicht und die bei *c* und *d* in Kugelgelenken drehbare Stange *cd* in der Richtung von *d* nach *c* schiebt, wodurch auf einen seitlich an der Stange s^1 angebrachten Hebel *f* ein Zug ausgeübt wird, so dafs die Stange s^1 und mit ihr der zylindrische Expansionsschieber sich ein wenig um ihre lotrechte Achse drehen. Durch diese Drehung wird der Expansionsschieber so verstellt, dafs während seines Auf- und Abgehens seine schrägen Kanten die Dampfkanäle des Grundschiebers früher schliefsen. Die Folge ist eine geringere Füllung des Zylinders *Z* mit Dampf und daher ein langsamerer Gang der Maschine, so dafs sich die Kugeln und die Hülse *M* des Zentrifugalregulators wieder senken. Daher dreht sich der Winkelhebel *abc* im entgegengesetzten Sinne um die Achse *b*, verschiebt den Hebel *f* in der Richtung *cd* und dreht s^1 und den Expansionsschieber so, dafs wieder mehr Dampf in die Kanäle des Grundschiebers und in den Dampfzylinder gelangen kann; daher geht die Maschine wieder rascher, und das Spiel des Regulators beginnt von neuem. Damit der Hebel *f* die Stange s^1 nicht an der vom Exzenter bewirkten auf und nieder gehenden Bewegung hindert, ist er nicht an s^1 unmittelbar festgemacht, sondern er befindet sich an einem die Stange s^1 umfassenden Ringe, welcher in der Mitte einen viereckigen Ausschnitt hat, durch welchen die an dieser Stelle vierkantig gestaltete Stange s^1 ungehindert auf und nieder gehen kann, aber ergriffen und gedreht wird, wenn sich der Hebel *f* dreht. Zu diesem Zwecke ist die Expansionsschieberstange s^1 drehbar in der Hülse *H* angebracht, so dafs sich s^1 mit dem Expansionsschieber sowohl auf und nieder bewegen als auch um die lotrechte Achse drehen kann.

Fig. 365.



Expansionsmaschinen haben geringen Dampfverbrauch und werden fast ausschliefslich gebaut. Wird der gebrauchte, aber noch mit Spannung behaftete Dampf aus einem Zylinder, dem Hochdruckzylinder in einen zweiten und dritten (gröfseren) Zylinder, den sogenannten Niederdruckzylinder, geleitet, in dem er noch mit dem Reste seiner Spannkraft Arbeit verrichtet, so nennt man die Maschine eine **Verbund-** oder **Compoundmaschine.** Läfst man den verbrauchten Dampf in einen geschlossenen Raum, den Kondensator, strömen, wo er, nachdem er die Luft vertrieben hat, durch Abkühlung verdichtet wird, so entsteht ein luftleerer Raum. Solche Maschinen heifsen **Kondensationsmaschinen;** sie haben bei gleicher Leistung einen geringeren Dampfverbrauch, weil

der bewegte Kolben den Druck der Luft nicht zu überwinden hat. Durch das Wegfallen des Kondensators und der zu ihm gehörenden Pumpen werden die Dampfmaschinen einfacher und nehmen weniger Raum ein; deshalb haben die Lokomotiven keinen Kondensator. Dagegen werden mit Kondensator namentlich feststehende Dampfmaschinen gebaut, wenn das zur Verdichtung des Dampfes nötige kalte Wasser leicht zu beschaffen ist, z. B. Schiffsdampfmaschinen. Das erste grofse Dampfschiff ist 1807 von dem Amerikaner Robert Fulton erbaut worden. **Raddampfschiffe**, die aber nur auf Flüssen und Binnenseen fahren, bewegt die Maschine durch zwei grofse Schaufelräder, die auf beiden Seiten des Schiffes gegen das Wasser schlagen und das Schiff vorwärtstreiben. Bei den **Schraubenschiffen** setzt die Dampfmaschine eine oder mehrere Schrauben, die sich am Ende des Schiffes an starken Längswellen im Wasser befinden, in schnelle Drehung. Wie sich ein in Drehung versetzter Korkzieher in den Kork oder eine Schraube ins Holz hineinbewegt, so dringt die Schiffsschraube ins Wasser ein und bewegt das Schiff mit sich fort. Gegenwärtig verwendet man nur noch Teile eines Schraubenganges, oder Schraubenflügel von 1,5—7 m Durchmesser. Schnelldampfer und Kriegsschiffe haben zwei oder drei Schrauben. Fig. 365 stellt den auf der Werft liegenden Schnelldampfer Kaiser Wilhelm II. des Norddeutschen Lloyd vor, der mit zwei Schrauben ausgerüstet ist, die sich entgegengesetzt drehen.

Auch bei der besten Dampfmaschine wird nur ein kleiner Teil der durch Verbrennen erzeugten Wärmemenge in nützliche Arbeit verwandelt (bei kleinen Maschinen 3—4 %, bei mittleren 10 %, bei Grofsdampfmaschinen 13—15 %); der andere, gröfsere Teil geht in der Heizanlage und der Maschine selbst nutzlos verloren*).

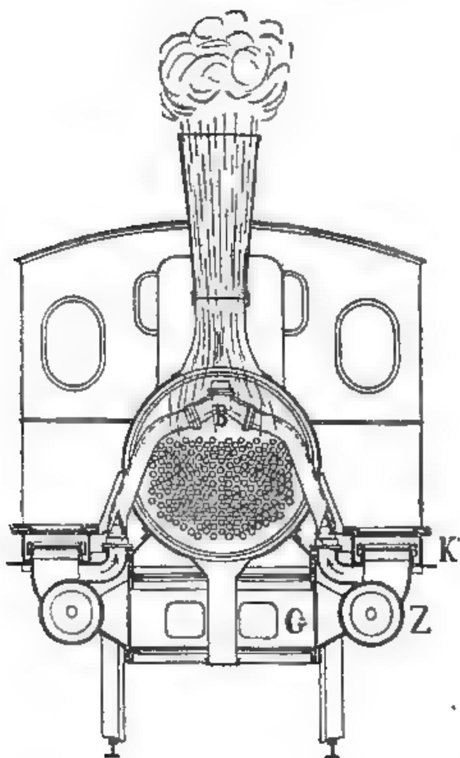
§ 186. Die Lokomotive.

Die Lokomotiven arbeiten mit hohen Dampfspannungen. Das Gestell *G* der Lokomotive (Fig. 366, 367) ist ein langer, starker, eiserner Rahmen, der gewöhnlich von 6 bis 10, zuweilen von 14 Rädern getragen wird, welche auf der inneren Seite mit einem hervorragenden Spurkranz versehen sind, der das Ausweichen von den Schienen verhindert. Den gröfsten Raum über dem Rahmen nimmt der **Dampfkessel** ein, der sich von der Rauchkammer unter dem Schornstein bis zum Führerstande erstreckt und 2 bis 8 m lang ist; er mufs rasch viel Dampf liefern; der Dampf sammelt sich in den oberen Teilen des Kessels, besonders in dem weiten Dampfdom. Der **Feuerraum**, die aus Kupfer hergestellte, sogenannte „Feuerbüchse", ist auf drei Seiten vom Wasser des Dampfkessels umgeben, unten aber mit einem Stabroste versehen; aus dem Feuerraum führen 100 bis 500 schmiedeeiserne, fast wagerecht liegende Heizröhren, von 40 bis 50 mm Durchmesser, durch den zylindrischen Langkessel hindurch nach dem Schornstein, und die in dieselben schlagende Flamme samt dem hindurchziehenden Rauch erhitzen das Wasser, das die Röhren umspült. Der in dem Röhrenkessel entwickelte Dampf erfüllt

*) Günstiger arbeiten die für den Betrieb kleiner Fabriken geeigneten **Gasmotoren oder Gaskraftmaschinen.** Dieselben bedürfen keiner Feuerungsanlage, sondern die Erhitzung der luftförmigen Körper geschieht in dem Arbeitszylinder selbst. Es ist dieser Zylinder an dem einen Ende offen, an dem anderen durch den Boden verschlossen. In den Raum zwischen Boden und Kolben wird mit Hilfe eines Schiebers ein Gemenge von Leuchtgas und einer weit gröfseren Menge atmosphärischer Luft eingelassen. Durch eine Seitenöffnung des Zylinders dringt dann nach der Bewegung eines Ventils oder Schiebers eine fortwährend brennende Gasflamme ein und entzündet das Gasgemenge. Es erfolgt eine schnelle Verbrennung desselben und eine bedeutende Wärmeentwicklung; die Spannkraft der im Zylinder eingeschlossenen luftförmigen Körper wird vervielfacht und treibt den Arbeitskolben vorwärts. Der Rückgang des Kolbens wird durch das Schwungrad bewirkt, und dabei entweichen die verbrauchten Gase zum grofsen Teil durch ein Auslafsventil.

den Dampfdom und gelangt aus ihm durch das Dampfrohr *DD* in den Schieberkasten *K*, unter dem Schornstein. Vor der Öffnung des Dampfrohres in den Dom läfst sich die Regulatorscheibe *R* durch eine Kurbel vom Führerstande aus so stellen, dafs viel, wenig oder gar kein Dampf in das Rohr tritt. Der Schieberkasten sowie der **Dampfzylinder** *Z*, der sich unter oder neben jenem vorn an der Lokomotive befindet, liegen wagerecht, so dafs auch die mit einer Geradführung versehene **Kolbenstange** wagerecht hin und her geschoben wird, wenn der Schieber des Schieberkastens den Dampf auf die rechte oder linke Seite des Kolbens treten läfst. Die Kolbenstange dreht durch eine Pleuelstange, mit der sie gelenkartig verbunden ist, und eine Kurbel K_1 die Achse des einen **grofsen Treibrades**, von wo aus die Dampfbewegung gewöhnlich durch Kuppelstangen auf ein weiteres Treibrad mit einer Kurbel K_2 übertragen wird. Weil an der Achse des Treibrades kein Schwungrad angebracht werden kann, hat die Lokomotive, ebenso wie ein Dampfschiff, zwei Dampfzylinder, *Z* und *Z* (Fig. 366) mit Kolben und Pleuelstangen und zwei Schieberstangen *K* und *K*, in welche der Dampf durch hinabführende Zweige des Dampfrohres *D* geleitet wird. Die beiden Kurbeln sind so gestellt, dafs, wenn die eine wagerecht liegt und für die Umdrehung wirkungslos ist, die andere lotrechte Stellung hat und ihre gröfste Wirkung ausübt. An der Treibachse sind mehrere exzentrische Scheiben angebracht; zwei derselben bewegen die Schieber in den Schieberkästen, und eine Scheibe mit Schubstange setzt die Speisepumpe in Tätigkeit, welche dem Dampfkessel aus dem Tender Wasser zuführt. Der verbrauchte Dampf strömt aus den Schieberkästen bei jedem Hin- und Hergang der Kolben, also stofsweise, durch die Abdampfrohre *A* und das Blasrohr *B* in den **Schornstein**, in dem er die ausströmenden Heizgase mit sich fortreifst, wodurch er den Luftzug im Feuerraum verstärkt; daher rührt das Geräusch in dem Schornstein einer fahrenden Lokomotive.

Fig. 366.



Oben hat die Lokomotive zwei **Sicherheitsventile** *S*, die durch zwei starke Federn hinabgedrückt werden, sich jedoch öffnen und den Dampf ausströmen lassen, wenn seine Spannkraft zu grofs ist; die Sicherheitsventile können mit Hilfe eines Hebels auch vom Lokomotivführer leicht geöffnet werden. Des weiteren befinden sich in unmittelbarer Nähe des Führerstandes zum Gebrauche für den Lokomotivführer und Heizer das Wasserstandsglas, die Probierhähne, das Federmanometer, welches die Spannung des Dampfes nach Atmosphären durch einen Zeiger angibt, die Dampfpfeife *P*, Ventile oder Hähne zur Bedienung der Speisepumpen und eine Vorrichtung zur Verstellung der Steuerung der Maschine.

Der Lokomotivführer kann den Dampf wirkungslos ausströmen lassen und vorwärts oder rückwärts fahren. Um rückwärts zu fahren, ändert er durch eine an der Steuerung befestigte Stange die Stellung des Schiebers. Gesetzt, der Kolben stände in der Mitte seines Zylinders, und die Kolbenstange müfste beim Vorwärtsfahren sich nach der linken Seite, den Hinterrädern zu, bewegen, so läfst sich die Stellung des Schiebers durch Bewegung der Rückstange ändern. Der Dampf tritt auf die linke Seite des Kolbens, und die Kolbenstange bewegt sich nach rechts und dreht die Mittelräder rückwärts.

C. Die Verbreitung der Wärme.

§ 187. I. Die Verbreitung der Wärme durch Leitung.

Wenn man ein Ende eines kurzen Drahtes in eine Flamme hält, so fühlt man bald, dafs sich die Wärme bis zu dem anderen Ende verbreitet; von den erwärmten Körperteilchen geht die Wärme zu den nächsten, sie berührenden, und

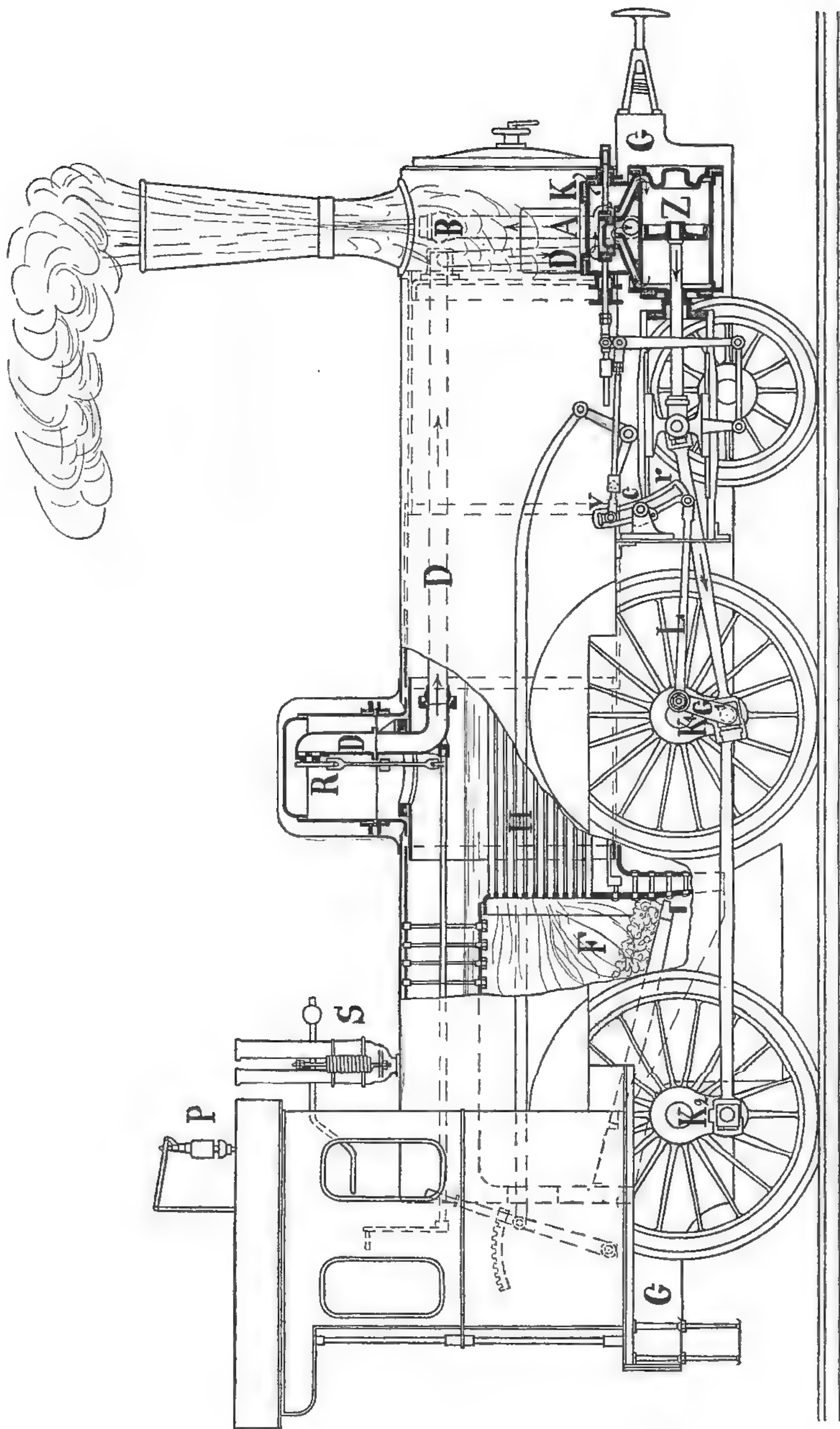


Fig. 367.

von diesen zu den folgenden über. **Die Verbreitung der Wärme, bei welcher sie von einem erwärmten Körperteilchen zu den nächsten, dasselbe berührenden übergeht, wird die Leitung der Wärme genannt.** Ein Streichholz, das an dem einen Ende brennt, zeigt an dem anderen keine merkliche Zunahme der Wärme; wie beim Holz geht die Wärme auch von den Teilen vieler anderen Körper zu den benachbarten langsam über. **Schlechte Wärmeleiter** sind solche Körper, deren Teile den benachbarten Teilen die Wärme langsam mitteilen; **gute Wärmeleiter** sind die Körper, von deren Teilen die Wärme schnell zu den benachbarten Teilen übergeht.

Gute Wärmeleiter sind die Metalle;

schlechte Wärmeleiter sind eingeschlossene Luftschichten, Wasser, Schnee und Eis; Wolle, Pelz und Leinwand; Stroh, Papier, Holz und Asche.

Obgleich Wasser und Luft zu den schlechten Wärmeleitern gehören, verbreitet sich doch, wenn ihre unteren Schichten erwärmt werden, die Wärme darin bald infolge der eintretenden **Strömungen.** §§ 171 und 172.

Auf unser Gefühl machen gute und schlechte Wärmeleiter, wenn sie gleich warm sind, einen ungleichen Eindruck; ein kaltes Metallstück entzieht der Hand, weil sich die Wärme schneller durch seine Teilchen verbreitet, mehr Wärme als ebenso kaltes Holz; umgekehrt fühlt sich erwärmtes Metall wärmer an, denn es gibt, wegen seiner guten Wärmeleitung, an die Hand mehr Wärme ab als ein ebenso warmes Holzstückchen, von dem sie langsamer zur Hand übergeht.

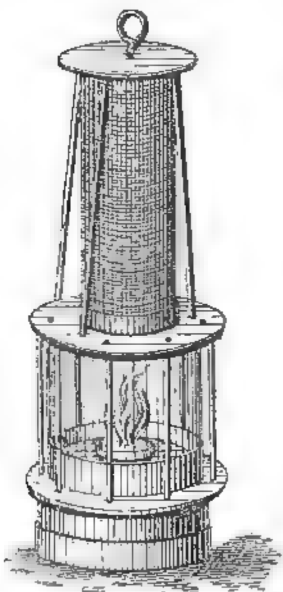
§ 188. Anwendung guter und schlechter Wärmeleiter.

Gute Wärmeleiter werden angewandt, wenn man Wärme schnell verbreiten, schlechte, wenn man sie irgendwo zurückhalten will.

1. Um Wasser schnell zum Sieden zu bringen, wendet man Metallgefäfse an, und um ein Zimmer schnell zu erwärmen, eiserne Öfen.

2. Dagegen bewahren die schlecht leitenden Kleiderstoffe unserm Körper, und die Luft zwischen Doppelfenstern und Doppeltüren dem Zimmer seine Wärme; der Schnee hält in den Saaten, die Eisdecke im Teiche (Eishäuser der Polarfahrer), das Stroh in damit umwickelten Bäumen, Dampfrohren und Pumpen die Wärme zurück. Der Zylinder der Dampfmaschine wird gegen Wärmeverluste geschützt (Fig. 364, S. 217). Wie schlechte Wärmeleiter Wärmeverluste verhindern, so schützen sie auch gegen das Eindringen neuer Wärme; so halten die hölzernen Griffe an Metallgefäfsen und Plätteisen von der Hand, untergelegte Pappe von dem Glase auf dem heifsen Ofen, die Bedeckung mit Stroh von den Eiskellern die Hitze zurück.

Fig. 368.



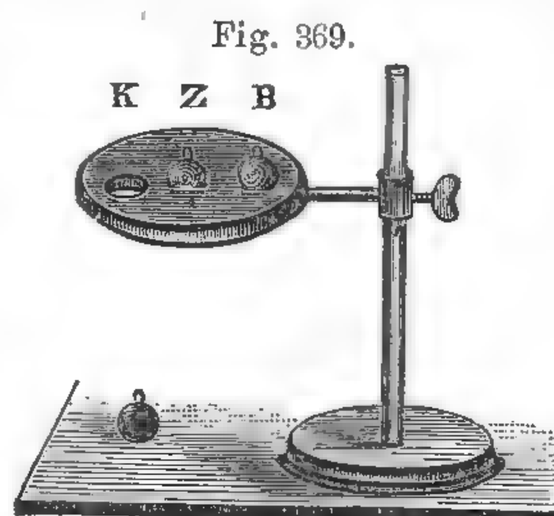
Läfst man Leuchtgas aus einem geöffneten Hahn durch ein wagerechtes, enges Drahtnetz strömen, so vermag man das Gas über oder unter dem Drahtnetz anzuzünden, ohne dafs die Flamme das Gas auf der anderen Seite des Netzes entzündet. Das Netz leitet so viel Wärme weg, dafs das Gas auf der anderen Seite seine Entzündungstemperatur nicht erreicht und daher nicht anbrennt. Hierauf beruht die **Sicherheitslampe** von Davy (Fig. 368), eine Öllampe, deren Flamme mit einem Glaszylinder und einem engen Drahtnetz völlig umgeben ist. Befinden sich im Bergwerke „schlagende Wetter“, das sind Gase, die sich bei der Berührung mit einer Flamme entzünden und explodieren würden, so gehen nur innerhalb des Drahtnetzes kleine Explosionen vor sich, welche ein zischendes Geräusch verursachen. Die Wärmeableitung des Drahtnetzes hindert das Überschlagen der Explosionen nach aufsen.

§ 189. Temperatur und Wärmegehalt.

Wohl zu unterscheiden voneinander sind die Temperatur oder der Wärmegrad eines Körpers und die Wärme oder Wärmemenge, die er enthält. Ein

Kilogramm Quecksilber und ein Kilogramm Wasser von 100 ° C haben wohl gleiche Temperatur, aber einen sehr verschiedenen Gehalt an Wärme, was man daran sieht, dafs die gleiche Spiritus- oder Bunsenflamme 1 kg Quecksilber sehr viel rascher (im 30 sten Teil der Zeit) von 0 ° auf 100 ° erwärmt als 1 kg Wasser; 1 kg Wasser nimmt, ehe seine Temperatur von 0 ° auf 100 ° steigt, 30 mal so viel Wärme auf als 1 kg Quecksilber. Diejenige, in Kalorien ausgedrückte Wärmemenge, welche 1 kg eines Körpers braucht, um sich um 1 ° C zu erwärmen, heifst die **spezifische Wärme** des Körpers. Die in Kalorien ausgedrückte Wärmemenge, welche nötig ist, einen Körper von beliebigem Gewicht um 1 ° C zu erwärmen oder die **Wärmekapazität** des Körpers erhält man daher, wenn man die spezifische Wärme des Körpers mit der Zahl seiner Kilogramme multipliziert. Die höchste spezifische Wärme hat das Wasser, es erfordert zur Erwärmung um 1 ° C 1 Kalorie; Alkohol und Glyzerin erfordern zur Erwärmung um 1 ° C nur 0,58 Kalorien, ihre spezifische Wärme ist 0,58, die von Petroleum 0,51. Die spezifische Wärme von Magnesium ist 0,25, von Aluminium 0,21, von Eisen 0,11, von Zink 0,092, von Kupfer 0,091, von Zinn 0,052, von Quecksilber 0,033, von Blei 0,031. Legt man daher drei gleich schwere Kugeln aus Kupfer, Zinn und Blei erst in siedendes Wasser und dann rasch auf eine Platte von Wachs (Fig. 369), so schmilzt sich die Kupferkugel infolge ihres grofsen Wärmegehaltes bei 100 ° völlig durch; die Zinnkugel aber erzeugt ein tieferes Schmelzloch als die Bleikugel, sie enthält bei 100 ° mehr Wärme als die Bleikugel.

Fig. 369.



§ 190. II. Die Verbreitung der Wärme durch Strahlung.

1. Das Licht pflanzt sich nach allen Seiten in geraden Linien fort; eine von einer Lichtquelle ausgehende gerade Linie, in der sich das Licht fortpflanzt, heifst ein Lichtstrahl. Wir können von der Wärme, die von einem eisernen Ofen ausgeht, belästigt werden, obwohl die zwischen uns und dem Ofen befindliche Luft noch kalt ist; dafs die Luft noch kalt ist, bemerken wir, wenn wir vor den Ofen einen Schirm stellen. Der Ofen strahlt daher Wärme aus, ohne die Luft zu erwärmen. Die Abhaltung der Wärme durch den Schirm beweist ferner, dafs der Ofen die Wärme geradlinig ausstrahlt. Eine von einer Wärmequelle ausgehende gerade Linie, in der sich die Wärme ausbreitet, heifst ein **Wärmestrahl**; Wärmestrahlen können Körper durchdringen, ohne sie zu erwärmen. Die Verbreitung der Wärme durch Strahlung ist von der Verbreitung der Wärme durch Leitung durchaus verschieden, denn während bei der Verbreitung durch Leitung alle zwischen einem erwärmten Punkte und der Wärmequelle gelegenen Körper mit erwärmt werden, bleiben bei der Erwärmung durch Strahlung alle die Körper kalt, welche die Wärmestrahlen nicht abzufangen, zu verschlucken oder zu absorbieren vermögen. **Ein Wärmestrahl erwärmt nur solche Körper, die den Wärmestrahl absorbieren,** ihn also an der Weiterverbreitung hindern. Da auch alle Lichtstrahlen zugleich Wärmestrahlen sind, so gibt es leuchtende und dunkle Wärmestrahlen. Die Wärmestrahlen der Sonne werden erst auf der Erde, welche diese Strahlen verschluckt, wirksam, während sie die Luft nur wenig erwärmen, da die Luft die Strahlen fast ungehindert durchläfst. Schwache Wärmestrahlen lassen sich durch die Thermosäule und einen Multiplikator (§ 49) nachweisen.

2. Nicht alle Körper, welche die Wärmestrahlen an der Weiterverbreitung verhindern, werden gleichmäfsig stark erwärmt, denn helle und glatte Flächen

werfen die Wärmestrahlen zum gröfsten Teil zurück, **während dunkle und rauhe Flächen die Wärmestrahlen absorbieren.** Daher zeigt ein Thermometer, dessen Kugel mit Rufs überzogen ist, im Sonnenschein eine höhere Temperatur als ein anderes; der Rufs nimmt viel Wärmestrahlen auf. Wo Kohlenstaub oder dunkle Erde auf dem Schnee liegt, schmilzt derselbe früher. Hellfarbige Sommerkleider erscheinen uns weniger warm.

Die starke Erwärmung einer schwarzen Fläche im Vergleich zu einer hellen zeigt das Farbenthermoskop (Fig. 370). Die Vorderseite trägt ein Stanniolblatt mit einem Rufsring, die Hinterseite ist mit gelbem Quecksilberjodid bestrichen, welches sich vorübergehend rötet, solange es über 45° C erwärmt wird. Bringt man eine genügende Wärmequelle in die Nähe der Vorderfläche, so rötet sich hinten ein Ring, der dem Rufsring vorn entspricht.

Fig. 370.

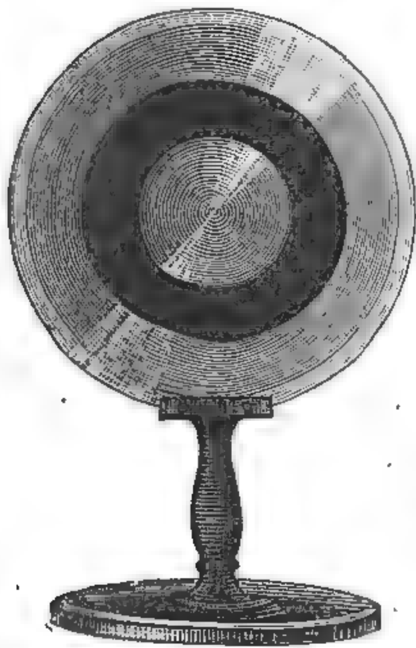
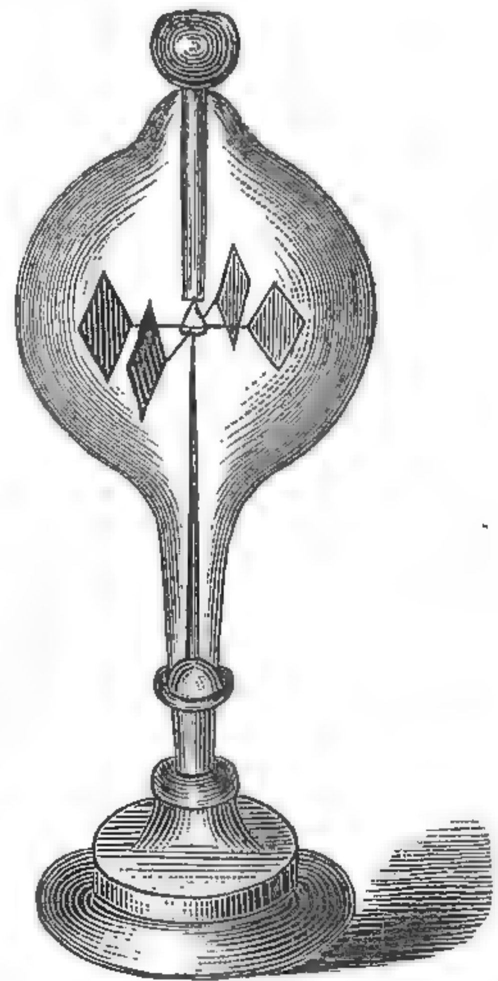


Fig. 371.

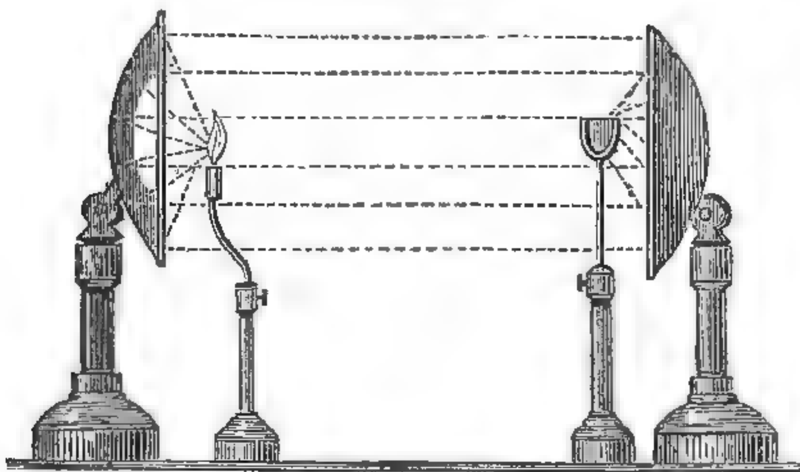


Das vom Engländer Crookes erfundene **Radiometer** (Fig. 371) ist ein Glasgefäfs, welches verdünnte Luft enthält. In der Mitte ruht auf einer Nadelspitze ein mit einem Hütchen versehenes, leicht drehbares Kreuz, dessen vier Arme Glimmerscheiben tragen, deren nach derselben Drehungsrichtung gewandte Rückseiten mit Rufs überzogen sind. Treffen helle oder dunkle Wärmestrahlen auf, so dreht sich das Kreuz so, als würden gegen die berufsten Flächen Stöfse ausgeführt. Diese Flächen werden stärker erwärmt als die blanken. Die Luftteilchen, welche stets in Bewegung sind und die berufsten Flächen treffen, werden wärmer und mit gröfserer Geschwindigkeit zurückgeworfen und führen gegen diese Flächen einen stärkeren Rückstofs aus. Deshalb entfernen sich die berufsten Flächen und die Luftteilchen voneinander, indem das Kreuz sich dreht.

3. Eiserne Öfen mit rauher, dunkler Oberfläche strahlen die Wärme schnell aus. Giefst man siedendes Wasser in gleiche Gefäfse, ein hell poliertes und ein berufstes, so kühlt sich im berufsten das Wasser schneller ab. Polierte Kaffeemaschinen sowie helle und glatte Metall- oder Porzellangefäfse verlieren ihre Wärme durch Strahlung langsam. **Dunkle und rauhe Flächen senden mehr Wärmestrahlen aus als helle und glatte.**

4. **Die Zurückwerfung und Brechung der Wärmestrahlen geschieht nach denselben Gesetzen wie die der Lichtstrahlen.** Wenn man **zwei** gleiche metallene **Hohlspiegel** (Fig. 372) einander gegenüberstellt, und um den halben Krümmungshalbmesser entfernt vor die Mitte des einen eine Flamme bringt, so entzünden sich leicht brennbare Stoffe in dem gleichen Punkte vor dem anderen Spiegel. Diese Punkte heifsen die Brennpunkte der Spiegel. Wird ein Gefäfs mit heifsem Wasser in den Brennpunkt des einen Hohlspiegels gebracht, so steigt ein empfindliches Thermometer in dem Brennpunkt des anderen augenblicklich. Vom Wasser gehen nach dem nächsten Hohlspiegel Wärmestrahlen, werden von ihm (§ 140, 1, II, I) parallel mit der Achse zurückgeworfen, treffen den zweiten Spiegel und werden durch die Zurückwerfung in seinem Brennpunkte vereinigt.

Fig. 372.



Durch ein Prisma von Steinsalz (Fig. 373) werden die dunklen Wärmestrahlen, wie sie von einem Gefäfs mit heifsem Wasser ausgehen, gebrochen und

von ihrem Wege abgelenkt; stellt man alsdann eine Thermosäule, deren Drähte zu einem Multiplikator führen, so, daſs die gebrochenen Strahlen auf die Lötstellen (§ 49) an ihrem einen Ende fallen, so erfolgt zugleich ein Ausschlag der Multiplikatornadel.

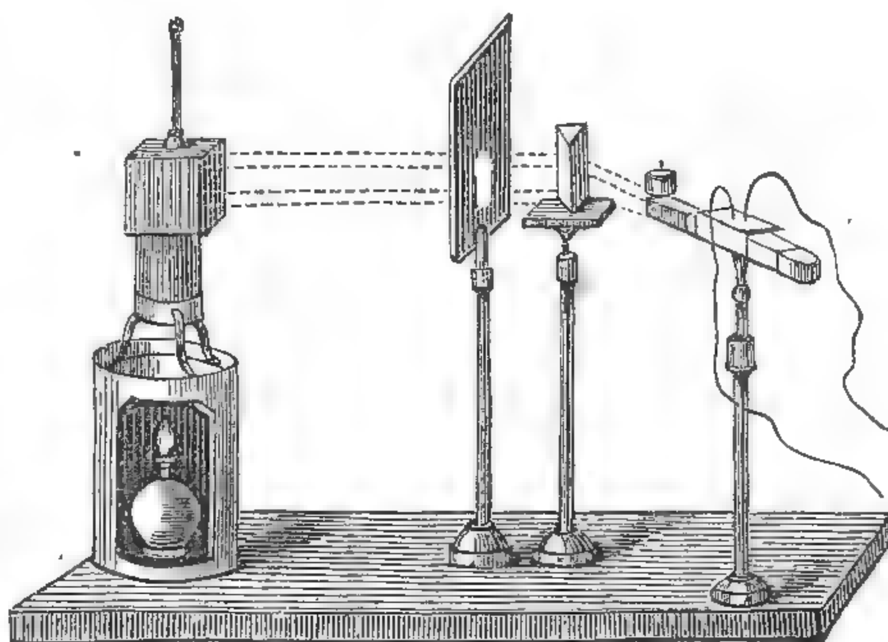


Fig. 373.

5. Trockene Luft, Steinsalz und Sylvin (Chlorkalium aus Staſsfurt) lassen die dunklen und die hellen Wärmestrahlen hindurch. Die übrigen durchsichtigen Körper, z. B. Glas und Wasser, gestatten den leuchtenden Wärmestrahlen den Durchgang, aber nur wenigen dunklen. **Die meisten durchsichtigen Körper, auſser Luft, Steinsalz und Sylvin, lassen die leuchtenden Wärmestrahlen durch, aber nur sehr wenig dunkle Strahlen.** Wärme durchlassende Körper heiſsen diatherman, solche, welche Wärmestrahlen nicht durchlassen, sondern absorbieren, adiatherman. Glas ist diatherman für helle und adiatherman für dunkle Strahlen. Die leuchtenden Sonnenstrahlen dringen durch die Glasfenster in unsere Wohnungen und erwärmen die darin befindlichen Gegenstände; aber die von diesen ausgehenden dunklen Wärmestrahlen läſst das Glas nicht hinaus.

§ 191. Das Wesen der Wärme.

1. Man unterscheidet strahlende Wärme und Körperwärme. Die strahlende Wärme steht unter denselben Gesetzen wie das Licht; sie verbreitet sich mit derselben Geschwindigkeit; sie wird ebenso durch Brennspiegel zurückgeworfen und durch Brenngläser gebrochen und bei der Brechung durch ein Prisma, wie das Licht in Farben, in Wärmestrahlen von verschiedener Brechbarkeit zerlegt. Diese ungemeine Ähnlichkeit sowie der Umstand, daſs so häufig Licht- und Wärmeerscheinungen einander begleiten, weist darauf hin, daſs die Wärmestrahlung auf dieselbe Weise geschieht wie die Verbreitung des Lichtes, nämlich durch eine Bewegung des Äthers. Wie ferner bei der Interferenz des Lichtes (§ 161) die einander entgegengesetzten Schwingungen des Äthers in zwei fast gleichlaufenden Lichtstrahlen Dunkelheit zur Folge haben, so gibt es auch eine Interferenz von Wärmestrahlen, bei der durch das Hinzukommen von Wärme zu Wärme Kälte erregt wird, ein Beweis, daſs die Wärme ebenfalls durch schwingende Bewegungen entsteht, die bei der Interferenz einander entgegengesetzte Richtungen haben und darum Ruhe bewirken. **Strahlende Wärme besteht in transversalen Schwingungen des Äthers,** welche bei den dunklen Wärmestrahlen langsamer sind und sich unserm Gefühl kundgeben, während sie dem Auge als Lichtstrahlen erst sichtbar werden, wenn sie eine bestimmte Geschwindigkeit erreichen, gleichwie das Ohr die Schwingungen einer Saite erst bei hinreichender Geschwindigkeit derselben vernimmt.

2. Wenn ein Stück kaltes Eisen gehämmert wird, so leistet der Hammer eine mechanische Arbeit, die sich mit Hilfe des Hammergewichtes und der Hubhöhe in m-kg ausdrücken läſst (§ 63,3). Diese vom Hammer geleistete Arbeit kommt erstens dadurch wieder zum Vorschein, daſs das gehämmerte Eisen Formveränderungen erleidet. Da bei dieser Formveränderung aber nur kleine Massen kurze Wege zurücklegen, so kommt durch die Formveränderung nur ein sehr kleiner

Teil der aufgewendeten Arbeit wieder zum Vorschein. Der gröfste Teil der dem niederfallenden Hammer innewohnenden Arbeitsgröfse verwandelt sich in eine unseren Augen freilich unsichtbare schwingende Bewegung der Moleküle des gehämmerten Eisens, welche unsere Gefühlsnerven bei Berührung als Wärme empfinden. Überall, wo scheinbar mechanische Arbeit verschwindet, bei Druck, Stofs, Reibung, werden solche Molekularschwingungen des betroffenen Körpers erzeugt, welche wir Wärme nennen. **Körperwärme besteht in einer schwingenden Bewegung der Moleküle des Körpers.** Joule bestimmte durch Versuche im Jahre 1850, dafs, wenn 1 m-kg Arbeit vollständig in Wärme verwandelt wird, stets die ganz bestimmte Wärmemenge von $^1/_{424}$ Kalorie entsteht. Da (wie jede Dampfmaschine lehrt) Wärme auch in mechanische Arbeit verwandelt werden kann, so ist 1 Kalorie Wärme, welche dabei verschwindet, hinreichend, um 424 m-kg Arbeit zu leisten; diese Zahl 424 m-kg heifst das **mechanische Wärmeäquivalent.**

Die Lehre, dafs die Wärme der Körper eine durch kleine schwingende Bewegungen der Moleküle hervorgebrachte Arbeitsleistung sei, heifst die **mechanische Wärmetheorie**; ihr Begründer ist der Arzt Robert Mayer in Heilbronn (geb. 1814, gest. 1878).

3. Nach der mechanischen Wärmetheorie erklärt sich die Wärmeleitung dadurch, dafs in Schwingung geratene und gehaltene Moleküle die benachbarten Moleküle in Mitschwingungen versetzen. Wenn man einen Körper erwärmt, so vergröfsert man die Geschwindigkeit der Schwingungen der Moleküle. Die Bewegung der schwingenden Moleküle entfernt dann die gegeneinanderstofsenden und darauf zurückprallenden Körperteilchen voneinander und bewirkt die Ausdehnung der Körper, und sie kann die Körperteilchen so weit voneinander entfernen, dafs ein fester Körper in den flüssigen Zustand, und ein flüssiger Körper in den luftförmigen Zustand übergeht. Die Wärmestrahlung wird dadurch hervorgebracht, dafs die schwingenden Moleküle eines „warmen" Körpers den alle Räume erfüllenden Äther (Lichtäther) in eine schwingende fortschreitende Bewegung setzen. Trifft aber ein in Schwingung begriffener Ätherstrahl (Wärmestrahl) einen Körper, so setzt umgekehrt der schwingende Äther die Körpermoleküle in Schwingung, d. h. die strahlende Wärme verwandelt sich in Körperwärme.

D. Wärmeerscheinungen im Luftmeer der Erde.

(Witterungskunde oder Meteorologie.)

1. Die Wärme auf der Erdoberfläche.

§ 192. Tägliche und jährliche Temperaturschwankungen.

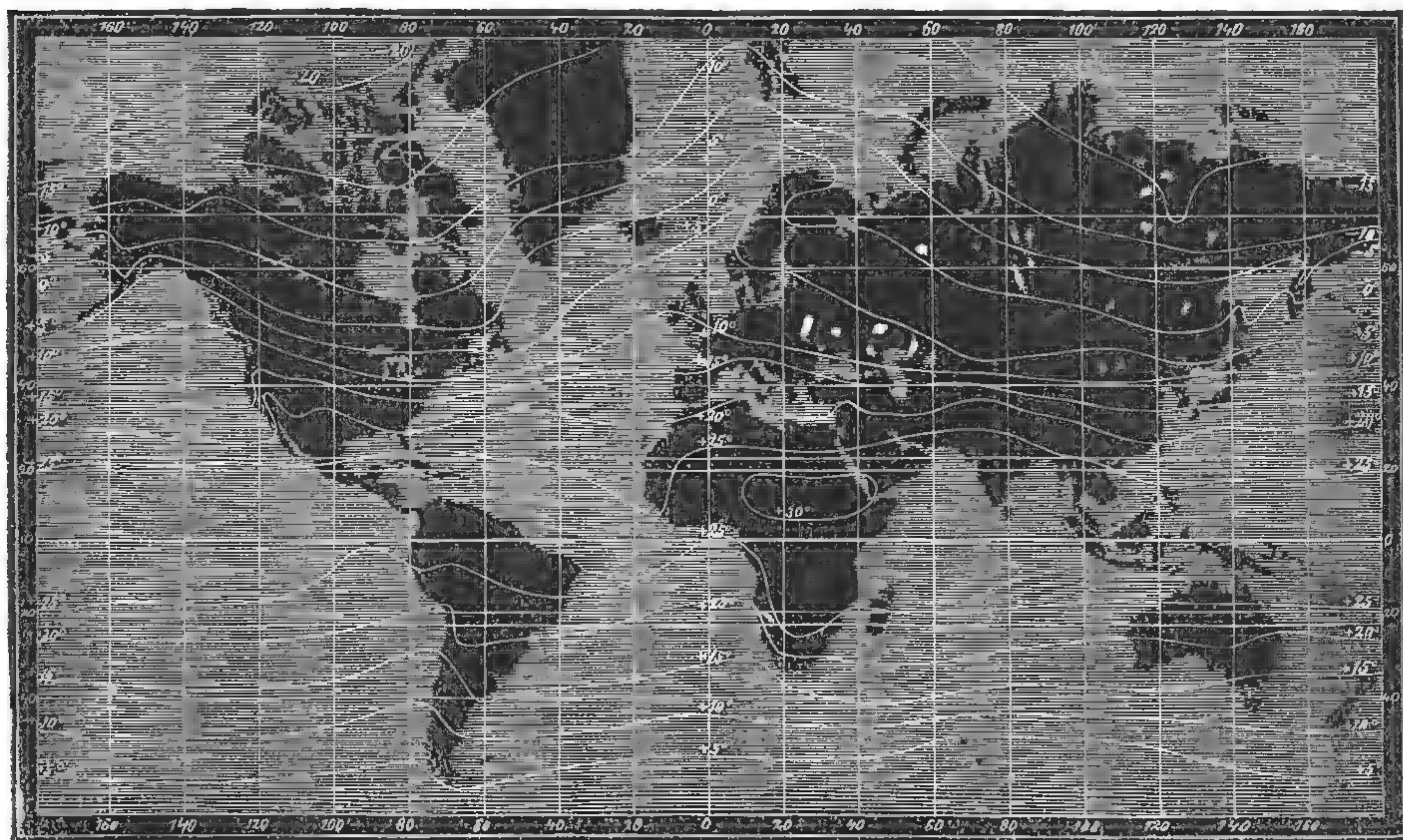
Für die Erde ist die Quelle der Wärme und damit alles Lebens und aller Bewegung die Bestrahlung durch die Sonne. Wegen des höchsten Sonnenstandes empfängt die Erde im Tageslaufe die meiste Wärme zu Mittag (§ 165, S. 196). Weil sich aber die Luft nicht durch die unmittelbare Sonnenbestrahlung, sondern erst durch die Berührung mit der erwärmten Erde erwärmt, findet die höchste Temperatur (in den unteren Luftschichten) erst zwei bis drei Stunden nach Mittag statt. Aus gleichem Grunde ist in unseren Gegenden, obwohl wegen des höchsten Sonnenstandes die Erde im Juni die meiste Wärme empfängt, doch der Juli der wärmste Monat. Weil die Erde nachts nur Wärme ausstrahlt, findet

die tiefste Tagestemperatur kurz vor Sonnenaufgang statt. Die tiefste Jahrestemperatur fällt bei uns nicht in den Dezember, den Monat des tiefsten Sonnenstandes und der geringsten Sonnenbestrahlung, denn zu dieser Zeit hat der Erdboden die im vorhergehenden Sommer absorbierte Wärme noch nicht ganz ausgestrahlt und teilt davon der Luft mit. Erst im Januar, wenn dieser Vorrat erschöpft ist, tritt die kälteste Zeit ein, obwohl die Bestrahlung durch die Sonne wieder stärker geworden ist. **Die höchste Temperatur tritt bei uns zwei bis drei Stunden nach dem Höchststand der Sonne ein, die tiefste kurz vor Sonnenaufgang. Die wärmste Zeit im Jahre tritt erst nach dem jährlichen Höchststand, die kälteste Zeit erst nach dem jährlichen tiefsten Stande der Sonne ein.**

§ 193. Die Verteilung der Wärme an der Erdoberfläche.

1. **Mittlere Temperaturen.** Die mittlere Tagestemperatur ist das arithmetische Mittel, welches man aus 24 allstündlich im Tageslaufe vorgenommenen Thermometerablesungen bilden kann. Die deutsche Seewarte in Hamburg bildet

Fig. 374. Jahresisothermen.

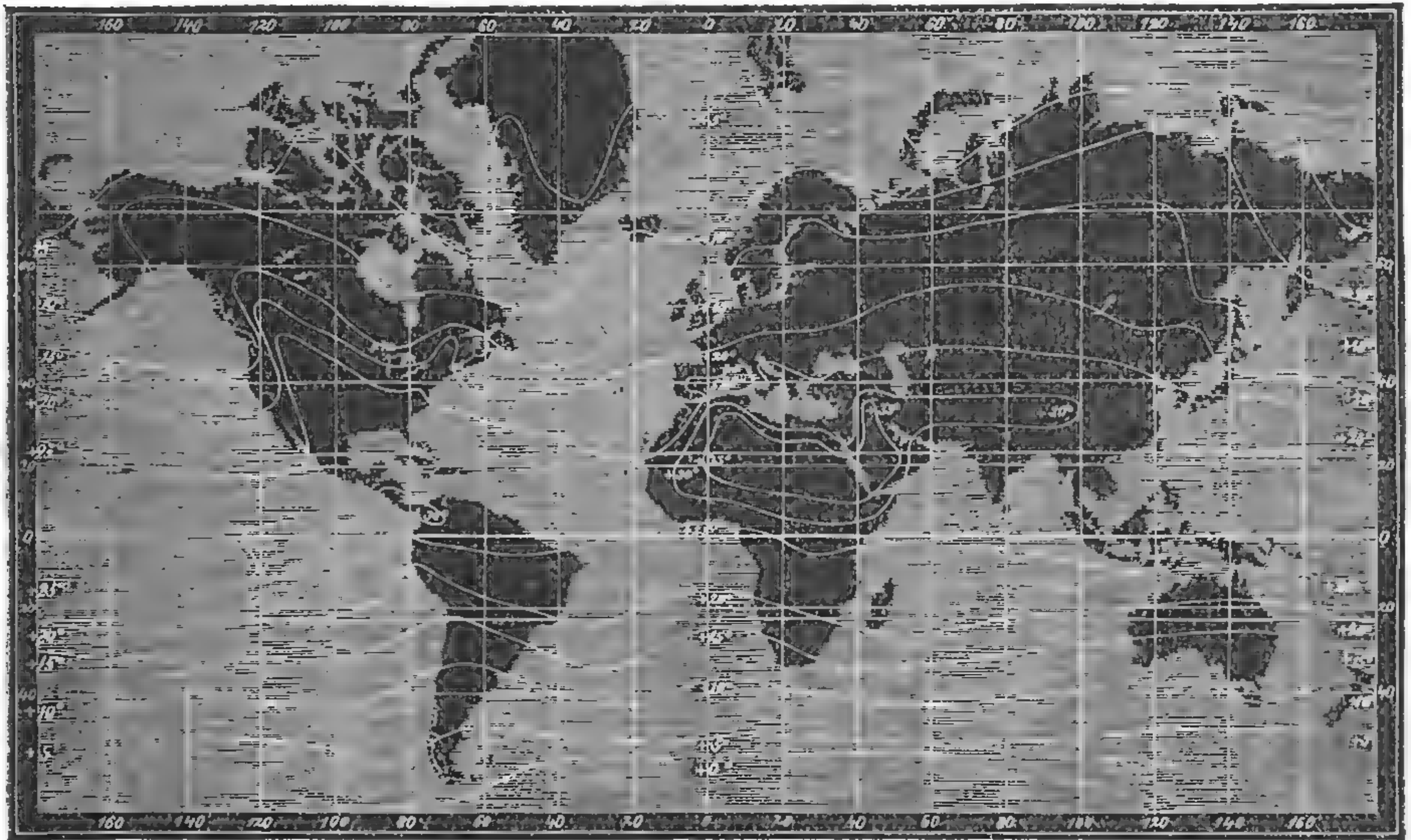


die mittlere Tagestemperatur, indem sie die Thermometerablesungen 8 Uhr morgens, 2 Uhr nachmittags und 8 Uhr abends addiert und durch 3 teilt. Die Summierung der so gebildeten Tagesmittel eines Monats und Division durch die Zahl der Monatstage liefert die mittlere Monatstemperatur. Die mittlere Jahrestemperatur wird durch Addition der 12 mittleren Monatstemperaturen und Division dieser Summe mit 12 erhalten.

2. **Isothermen.** Jahresisothermen sind die Linien, welche man erhält, wenn auf einer Karte die Orte mit gleicher mittlerer Jahrestemperatur miteinander verbunden werden (Fig. 374). Die Jahresisothermen müfsten mit den Breitenkreisen parallel laufen, wenn die Erwärmung der Erde nur vom Einfallswinkel der Sonnenstrahlen gegen die Erdoberfläche abhinge (§ 164). Die ungleiche Verteilung von Meer und Land, Strömungen im Meere, die verschieden starke Bewölkung in den verschiedenen Erdgegenden, die Gebirge u. a. m. bewirken, dafs

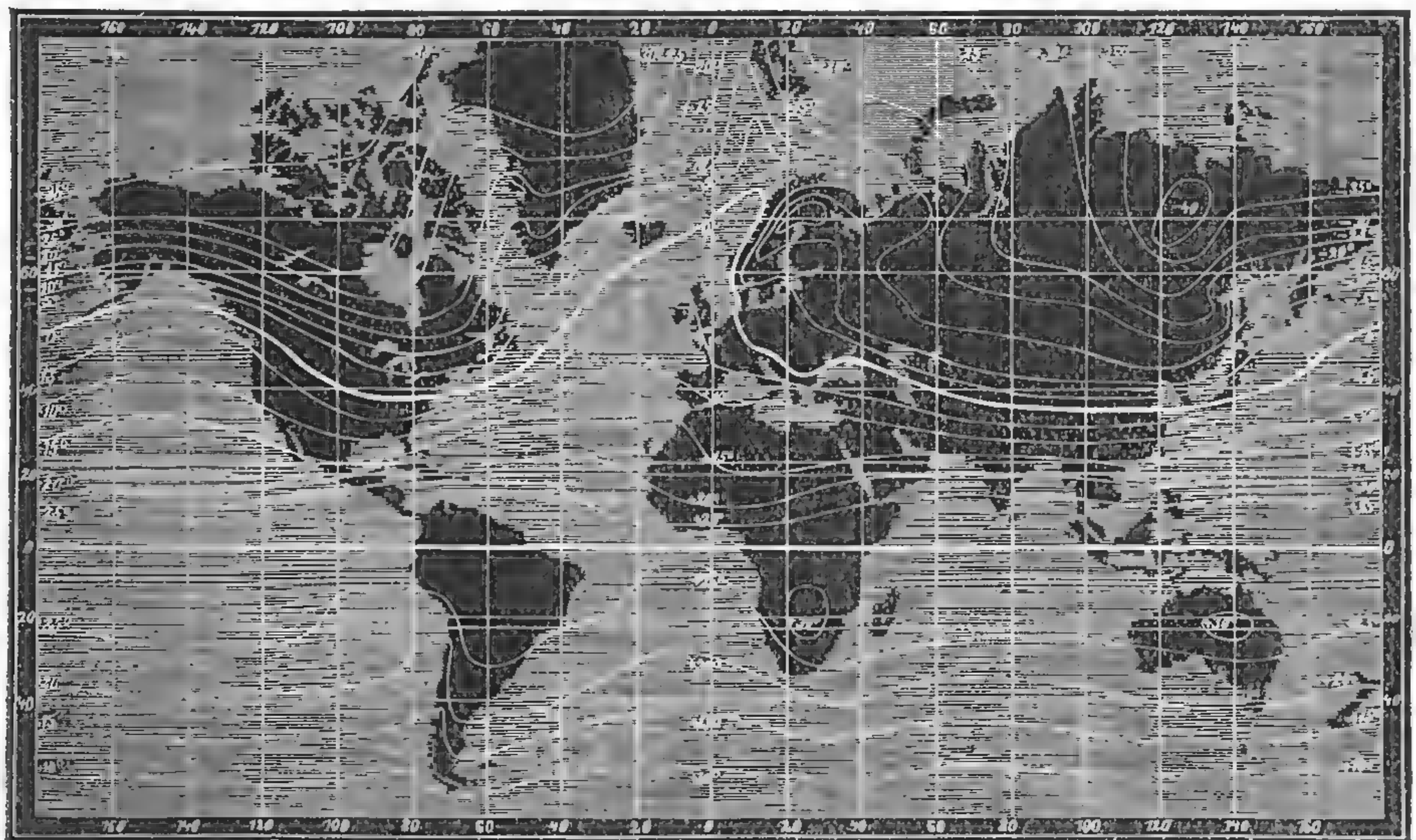
die Jahresisothermen von den Parallelkreisen stark abweichen. **Die westlichen Gestade der Festländer haben höhere Jahrestemperatur als die innerhalb**

Fig. 375. Isothermen des Juli.



der Kontinente unter gleicher Breite gelegenen Orte. Beachte die erwärmende Wirkung des Golfstromes. Werden die Orte auf einer Karte verbunden, welche

Fig. 376. Isothermen des Januar.



gleiche mittlere Monatstemperaturen haben, so erhält man Monatsisothermen. Fig. 375 und Fig. 376 stellen die Isothermen des wärmsten und des kältesten Monats dar. Das Meer bleibt wegen seiner Fähigkeit, viel Wärme aufnehmen zu

können, oder wegen seiner hohen spezifischen Wärme im Sommer kühl, während sich das Land stark erhitzt. Daher ziehen sich die Isothermen des Juli auf den zusammenhängenden Ländermassen der Nordhalbkugel weiter nach Norden hinauf als auf den Meeren. Insbesondere ist am Verlaufe der Juliisothermen an den West- und Ostküsten zu sehen, daſs die Kühle des Meeres die Sommertemperatur dieser Küsten mäſsigt. **Die Sommertemperatur der Küstenländer wird durch die Nähe des Meeres gemildert.** Wenn im Januar die Nordhalbkugel ihren Wärmevorrat vom vergangenen Sommer ausgestrahlt hat, haben sich die Kontinente der Nordhalbkugel stärker abgekühlt als die Meere. Daher gehen die Januarisothermen auf den Meeren weit nördlich, während sie sich innerhalb der Kontinente nach dem Äquator hinziehen. Die Küstenländer im Osten und Westen haben durch das wärmere Meer eine höhere Januartemperatur erhalten als das Innere der Kontinente. **Die Wintertemperatur der Küstenländer wird durch die Nähe des Meeres gemildert.** Die Länder, deren Sommer- und Wintertemperaturen durch das Meer gemäſsigt werden, haben **Seeklima**; es sind die Küstenländer. Die Länder mit heiſsen Sommern und kalten Wintern, welche der mildernden Wirkung des Meeres nicht teilhaftig werden, haben **Landklima** oder **Kontinentalklima**; es sind die Länder im Innern der Kontinente.

2. Strömungen im Luftmeer der Erde.

§ 194. Änderungen des Luftdrucks und Entstehung der Winde.

1. **Wärme und Barometerstand.** Haben ausgedehnte Gebiete der Erdoberfläche gleiche Temperatur, so ist dies auch mit den darüberliegenden Luftschichten der Fall, nur daſs im allgemeinen die Temperatur nach obenzu abnimmt. Dann herrscht am Erdboden gleicher Barometerstand, welcher aber von unten nach oben immer geringer wird, so daſs die Flächen, in denen gleicher Luftdruck ist, wagerecht übereinanderliegen. Wird aber eine Erdstelle stärker erwärmt, so teilt sie ihre Wärme zunächst durch Berührung und Leitung der untersten Luftschicht mit; diese dehnt sich nach oben aus, bläht sich gewissermaſsen nach oben auf, und hebt die ganze Luftsäule, die über ihr ist. Weil nun die über der untersten Schicht liegende Luftschicht schwerer ist, beginnt zwischen diesen beiden Luftschichten ein Niedersinken schwererer und ein Aufsteigen leichterer Luftsäulchen, bis ein Ausgleich erfolgt ist. Da sich die unteren Schichten immer stärker erwärmen, geht das Spiel weiter, bis schlieſslich die ganze Luftsäule über der erwärmten Stelle ausgedehnt ist. Die Folge ist, daſs vom obersten Teile der nach oben ausgedehnten Luftmasse Luft wie auf einer schiefen Ebene nach der nicht erwärmten Umgebung abflieſst und das Barometer am Erdboden fällt, während es in der Umgebung steigt. **Durch Zunahme von Wärme in der Atmosphäre wird am Erdboden der Luftdruck kleiner.**

Geringere Verminderungen des Luftdrucks, die sich gewöhnlich rasch ausgleichen, werden erzeugt, wenn der Wasserdampf in der Luft rasch verdichtet wird, weil dann die Spannkraft des Wasserdampfes in der Luft wegfällt. Auch die Kondensationswärme, welche bei Bildung von Wolken und Regen frei wird, kann eine Verminderung des Luftdrucks zur Folge haben. Ferner ist feuchte Luft, die ein Gemisch von Wasserdampf und Luft ist, leichter als trockene Luft, da Wasserdampf nur $^5/_8$ des Gewichtes der Luft von gleicher Wärme und Dichtigkeit hat.

Wird ein Gebiet der Erdoberfläche stark abgekühlt, so zieht sich die darüber befindliche Luftsäule zusammen, oben strömt von benachbarten Gebieten Luft zu, und das Barometer am Erdboden steigt.

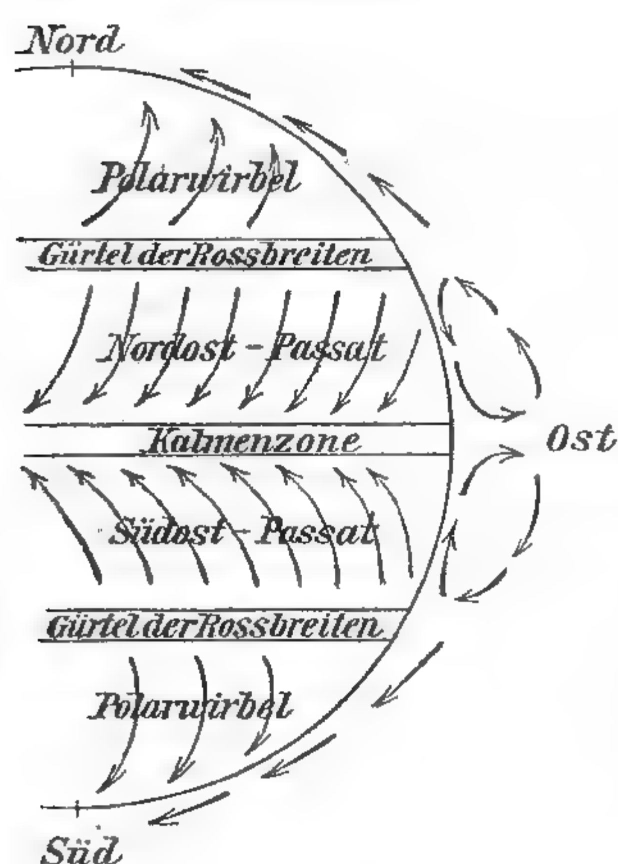
2. **Entstehung und Richtung des Windes.** Sobald wegen des Abflusses der Luft in der Höhe über einer erwärmten Erdstelle der Luftdruck am Erdboden gesunken ist, strömt in den unteren Schichten die Luft der Umgebung wegen ihres höheren Druckes nach dem Orte des niedrigeren Luftdruckes gerade so, wie aus einem geöffneten Zimmer mit kalter Luft die kältere und daher schwerere am Fuſsboden in

ein wärmeres Zimmer strömt. Solche wagerechte Luftströmungen werden Winde genannt. **Die Winde entstehen durch die Verschiedenheit des Luftdruckes an verschiedenen Orten; sie wehen stets von den Gegenden, welche höheren Luftdruck haben, nach den Gegenden mit niedrigerem Luftdruck.**

§ 195. Beständige und periodische Winde.

1. Die Luft der Äquatorialgegenden wird beständig stark erwärmt, dehnt sich nach oben aus und steigt daher in die Höhe; diese Gegend hat infolgedessen unten vorwiegend Windstille, es ist die Region der **Kalmen.** Die emporgehobenen Luftmassen strömen oben dahin ab, wo die Luftschichten weniger hoch gehoben sind, nach N und S. Es entsteht daher in der Höhe auf der nördlichen Halbkugel ein Südwind. Dieser Südwind nimmt aufser seiner Bewegung nach Norden auch an der grofsen Drehgeschwindigkeit teil, welche die Luftmassen der Äquatorgegend infolge der Achsendrehung der Erde nach Osten besitzen. In dieser grofsen Drehgeschwindigkeit nach Osten beharren die nach Norden strebenden Luftmassen, auch wenn sie schon in höhere Breiten gelangt sind, die ja eine kleinere Drehgeschwindigkeit nach Osten besitzen; sie eilen daher in den höheren Breiten der Achsendrehung der Erde voraus und erleiden also eine Ablenkung nach Osten oder von ihrer ursprünglichen Richtung aus nach rechts. Dies ist der eine Grund für die Ablenkung nach rechts. Aber auch wegen der Beharrung in der Richtung erleidet die strömende Luft auf der Nordhalbkugel eine Abweichung nach rechts von dem kürzesten Wege nach dem Ziele; es ist die gleiche Ursache, welche dem schwingenden Pendel des Foucaultschen Versuches die Abweichung nach rechts von der Schwingungsrichtung auf der Nordhalbkugel, nach links auf der Südhalbkugel erteilt (§ 87, 6). Aus dem ursprünglichen S-Wind wird aus den angeführten Gründen ein SW-Wind, welcher der SW-Antipassat heifst. Auf der südlichen Halbkugel wird die in der Höhe nach S strömende Luft aus den gleichen Gründen nach links, ebenfalls nach O, abgelenkt; es entsteht ein NW-Wind, der NW-Antipassat. Von diesen Antipassaten wird man getroffen beim Besteigen sehr hoher Berge, und sie sind aufserdem zu erkennen an der Bewegung der Federwolken und den Rauchsäulen über hohen Vulkanen. Die Luft der Antipassate kühlt sich in der Höhe allmählich ab, sinkt ungefähr beim 30. Grad nördlicher und südlicher Breite, den Gürteln der Rofsbreiten, hinab und bewirkt dort höheren Luftdruck, der 763 mm beträgt, und Gebiete schwacher Winde und Windstillen. Weil am Äquator nur ein Luftdruck von 758 mm herrscht, mufs die Luft von jenen Gegenden nahe der Erdoberfläche nach dem Äquator hinströmen. Auf der Nordhalbkugel bewegt sich die Luft nach S; weil sie aber aus höheren Breiten mit kleinerer Drehgeschwindigkeit nach Osten kommt, kann sie der grofsen Drehgeschwindigkeit der Äquatorgegend nicht folgen und erleidet deshalb und wegen der Beharrung in der Richtung ebenfalls eine Ablenkung nach rechts. Der ursprüngliche Nordwind wird nach W, abgelenkt; es entsteht ein NO-Wind, der **NO-Passat** (Fig. 377). Auf der südlichen Halbkugel strömt die Luft nach N und wird nach links, ebenfalls nach W, abgelenkt; es bildet sich ein SO-Wind, der **SO-Passat.** In der Nähe des Äquators gehen die Passatwinde der Nord- und Südhalbkugel in grofsen

Fig. 377.



Höhen (10 km) in Ostwinde über, unterhalb zwischen sich den Kalmengürtel lassend. Die Äquatorialgegend zwischen 30° nördlicher und südlicher Breite stellt daher im wesentlichen ein Zirkulationsgebiet der Luft für sich dar, in dem die Winde mit grofser Regelmäfsigkeit wehen. Die Richtung eines jeden Passatwindes ist der Richtung des über ihm wehenden Antipassats entgegengesetzt.

Fig. 378.

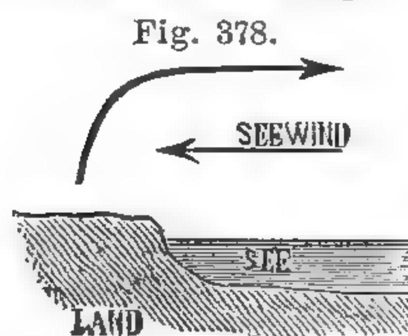
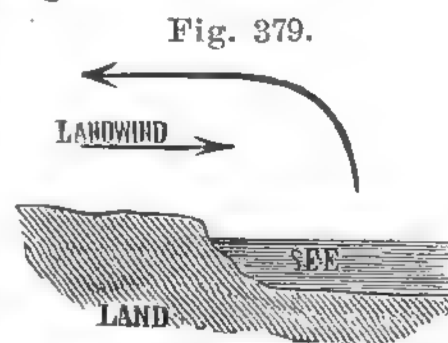


Fig. 379.



2. **Die periodischen Winde** wehen eine bestimmte Zeit lang und wechseln nach Ablauf derselben ihre Richtung. Zu ihnen gehören die **Küstenwinde.** An den Küsten weht in der heifsen Zone im ganzen Jahre, in der gemäfsigten Zone in der warmen Jahreszeit bei Tage ein **Seewind** von der See nach dem Lande, und in der Nacht ein **Landwind** vom Lande nach dem Meere. Bei Tage erwärmt sich das Land schneller und stärker als das Wasser; die Landluft wird leichter, steigt empor und fliefst hoch oben zum Teil nach dem Meere hin ab. Infolgedessen wird der Luftdruck über dem Lande bei Tage niedriger, über der See höher, und es entsteht ein Seewind (Fig. 378). In der Nacht dagegen kühlt sich das Land schneller und stärker ab als das Wasser; die Landluft wird schwerer und senkt sich, und hoch oben fliefst vom Meere nach dem Lande hin Luft zu. Infolge dieser Vorgänge wird der Luftdruck über dem Lande in der Nacht höher, über der See niedriger, und es entsteht ein Landwind (Fig. 379).

§ 196. Veränderliche Winde.

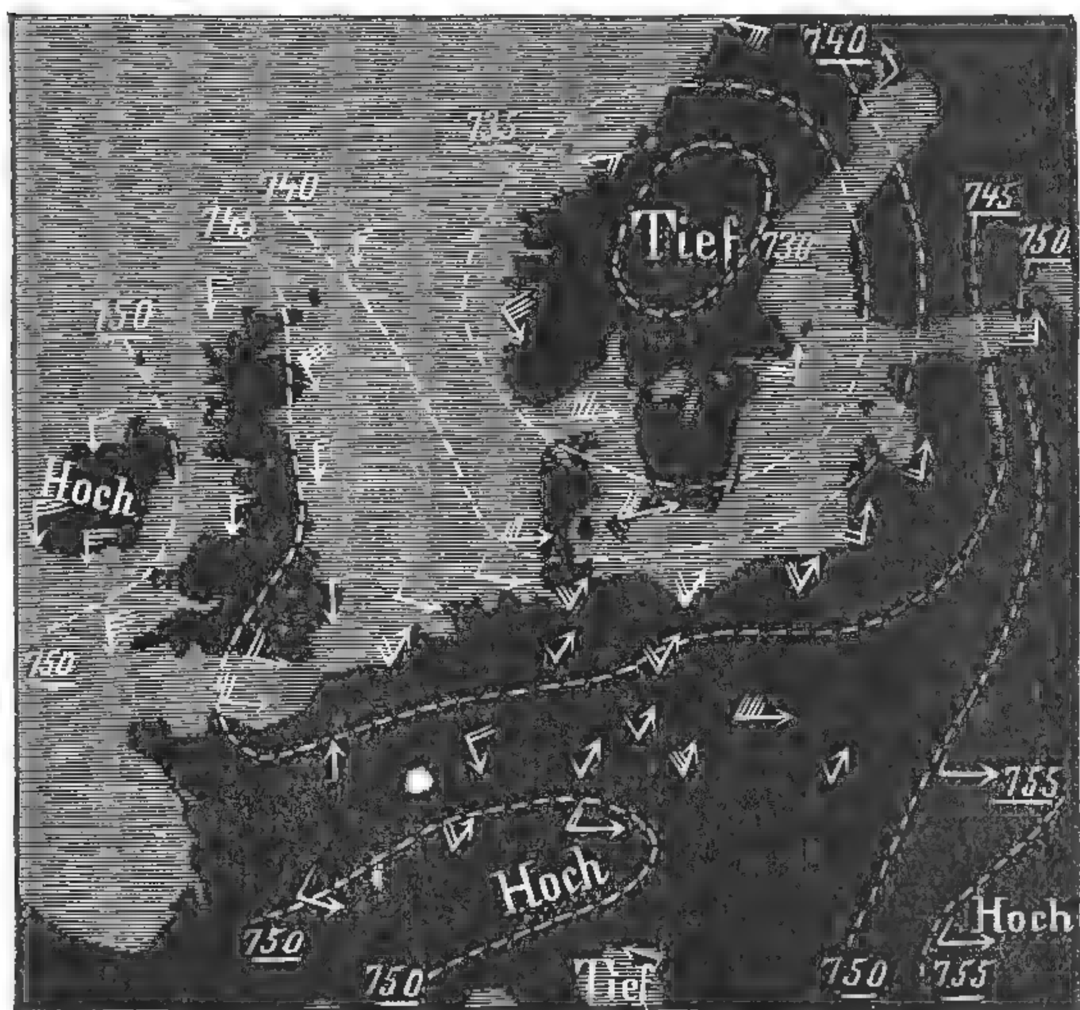
1. **Die Polarwirbel.** Da der Luftdruck von den Rofsbreiten aus polwärts dauernd niedriger ist (am niedrigsten unter 60° Breite), so strömt aus den Gebieten der Rofsbreiten fortwährend Luft nach den Polen hin, wird aber infolge der Achsendrehung der Erde nach Osten abgelenkt und umkreist wirbelförmig die Pole. **Die gesamte Luftmasse der aufsertropischen Breiten umkreist in der Richtung von West nach Ost in grofsen Wirbeln den Nordpol und Südpol der Erdkugel.** Beobachtungen an Wolkenzügen, auf Bergstationen und durch Ballonaufstiege haben erwiesen, dafs in grofsen Höhen der aufsertropischen Breiten nur westliche Winde anzutreffen sind.

2. **Veränderliche Winde.** Jeder der beiden Gürtel hohen Luftdruckes an den Polargrenzen der Passatgebiete ist eine Folge der stauenden Wirkung der Polarwirbel auf den Antipassat und bildet eine Art Windscheide, von der aus nach dem Äquator die Passatwinde, nach den Polen aber Westwinde wehen, als Fortsetzungen der herabgesenkten Antipassate. Der Luftaustausch zwischen diesen Gürteln hohen Druckes und den Polen geschieht in den Regionen unter 2000 m im wesentlichen durch veränderliche Winde. Wir wohnen in der Gegend der veränderlichen Winde. Verbindet man auf einer Karte die Orte, welche gleichzeitig denselben Luftdruck gehabt haben, so heifsen diese Linien Isobaren (Linien gleichen Luftdrucks *). Aus dem Lauf derselben sieht man, wo der Luftdruck am

*) Um die verschiedenen Barometerstände miteinander zu vergleichen, werden sie auf null Grad und auf den Meeresspiegel reduziert, d. h. es wird 1. berechnet, wie hoch der beobachtete Barometerstand bei null Grad Wärme sein würde, und 2. wie hoch derselbe sein würde, wenn der Ort nicht höher läge als der Meeresspiegel. Eine Quecksilbersäule dehnt sich für jeden Zentigrad um $^1/_{5550}$ ihrer Länge aus. Beträgt bei 15° C der Barometerstand 760 mm, so ist die Quecksilbersäule um $15 \times {}^1/_{5550} \times 760$ mm oder ungefähr 2 mm höher als bei 0°. Der auf null Grad reduzierte Barometerstand ist daher $760 - 2 = 758$ mm. Beobachtet man dagegen bei $-15°$ C einen Barometerstand von 760 mm, so ist $760 + 2 = 762$ der auf null Grad reduzierte Barometerstand. Um den Barometerstand auf den Meeresspiegel zu reduzieren, mufs man bei geringen Erhebungen über den Meeresspiegel immer für 10,5 m zu dem beobachteten Barometerstand 1 mm hinzufügen. Für eine Erhebung von $3 \times 10{,}5$ m sind zu dem beobachteten Stand des Quecksilbers 3 mm zu addieren (s. § 111, 5, III. S. 133).

niedrigsten und wo er am höchsten ist. *Ist der Luftdruck in einer Gegend* **niedriger** *als ringsumher, so wird er* **ein barometrisches Minimum oder eine Depression** *genannt. Ist der Luftdruck in einer Gegend* **höher** *als ringsumher, so heifst er* **ein barometrisches Maximum.** Von allen Seiten strömt die *Luft nach einem Minimum* hin, und zwar desto heftiger, *je niedriger in demselben der Luftdruck* ist; dabei wird sie in unseren Gegenden *nach rechts* abgelenkt, so dafs auf das Minimum Winde einströmen, die eine der Uhrzeigerbewegung entgegengesetzt gerichtete Drehbewegung haben (Fig. 380). Der Grund für diese Ablenkung ist wieder die Erddrehung, wie es bei den Passatwinden erörtert wurde. Die um ein Barometerminimum stattfindende wirbelartige Luftbewegung, welche am Erdboden dem Zentrum der Wirbelbewegung Luft zuführt, die im Wirbel aufsteigt und oben wieder wirbelförmig abfliefst, nennt man eine **Zyklone.** Es gilt ganz allgemein das **barische** oder **Buys-Ballotsche Windgesetz: Auf der nördlichen Halbkugel hat der Beobachter, welcher den Wind im Rücken hat, den Ort des niedrigsten Luftdrucks zur Linken, auf der südlichen Halbkugel zur Rechten.** Ein **Minimum** bildet sich leicht in einer stärker erwärmten Gegend; in einer solchen *steigt die feuchte, warme Luft empor*; sie kühlt sich ab, ihr Wasserdampf verdichtet sich in der Höhe, und es tritt Wolkenbildung und Regen ein. Die Wolkenbildung, d. h. die Verdichtung des Wasserdampfes, macht aber viel Kondensationswärme frei (§ 180, 2), welche die aufsteigende Luft wärmer erhält und leichter macht als die Luft der Umgebung, so dafs das Aufsteigen der Luft verstärkt und die Dauer der Zyklone verlängert wird. Auch die durch die Wirbelbewegung erzeugten *Fliehkräfte* verstärken die Depression. Auf diese Art bilden sich aber nur kleinere, rasch vergehende Depressionen. Die lange andauernden, umfangreichen Depressionen (2000 bis 3000 km Durchmesser, bei nur 2 bis 5 km Höhe) kommen zu uns aus Nordamerika, wo sie als eine Folge des Ausgleiches der warmen Luftmassen niedriger Breiten mit den kalten höherer Breiten entstehen. Die Depressionen sind Ursache unbeständiger, schlechter Witterung; sie bleiben meistens nicht lange an demselben Orte, sondern *schreiten* in der Regel nach NO oder O so *fort*, dafs sie in einer Stunde 27—50 Kilometer zurücklegen. Die Ursache für das Fortschreiten nach Osten erblickt man in dem Umstande, dafs der Ostseite der Zyklone aus dem Süden warme und leichte, der Westseite aus dem Norden kalte und schwere Luft zugeführt wird, so dafs ein Druck von West nach Ost entsteht, der den Wirbel nach Osten verschiebt.

Fig. 380.



Viele Minima halten *bestimmte* **Zugstrafsen** inne; für Europa unterscheidet man *fünf* Hauptzugstrafsen. Eine im Sommer häufige Zugstrafse führt von der Südseite Irlands, nach NO durch England, dann durch das Skagerrak, Südschweden, den Bottnischen und Finnischen Meerbusen nach dem Weifsen Meere. Das Gebiet eines Minimums wird gewöhnlich von einer *Ellipse* umgrenzt; die grofse Achse

der Ellipse hat die Richtung der Zugstrafse. **Auf der Ostseite eines Minimums weht der Wind aus SO, auf der Südseite aus SW, auf der Westseite aus NW und auf der Nordseite aus NO** (Fig. 381a). Ist die Geschwindigkeit des Windes grofs, so ist die Ablenkung noch bedeutender; bei den stärksten Stürmen fällt die Richtung des Windes fast mit den Isobaren zusammen. **Ein Maximum** dagegen bildet sich vorzugsweise in einer weniger erwärmten Gegend; in ihm sinkt trockene Luft langsam herab und wird wärmer und noch trockener. Die herabgesunkene Luft strömt am Erdboden nach allen Seiten hin ab (Fig. 381b) und erfährt wegen der Achsendrehung der Erde auch eine Ablenkung nach rechts. Daher sind die von einem Maximum ausgehenden Winde der Bewegung des Uhrzeigers gleichgerichtet; eine solche Luftbewegung heifst eine **Antizyklone.** Die Maxima sind die Träger des beständigen, ruhigen und trockenen (im Winter häufig nebligen) Wetters; sie verharren meistens längere Zeit an demselben Orte.

Nun geschieht es nicht selten, dafs vom Atlantischen Ozean her Depressionen westlich von uns, bei Irland, erscheinen und nördlich von uns über die Nordsee und Ostsee nach einem östlich von uns liegenden Teile von Rufsland wandern. Befindet sich die Depression westlich von uns, so haben wir SO-Wind; befindet sie sich im NW, so weht bei uns S-Wind; nördlich von uns erscheinend, ruft sie SW-Wind hervor, nachher W- und NW-Wind. Daraus ergibt sich das von Dove aufgestellte Winddrehungsgesetz: **Der Wind dreht sich bei uns meistens mit der Sonne, von O über S und W nach N.** Für Gegenden unserer Halbkugel, die nördlich von der vorüberziehenden Depression liegen, ist die Drehung des Windes die entgegengesetzte, also gegen die Sonne.

Fig. 381a.

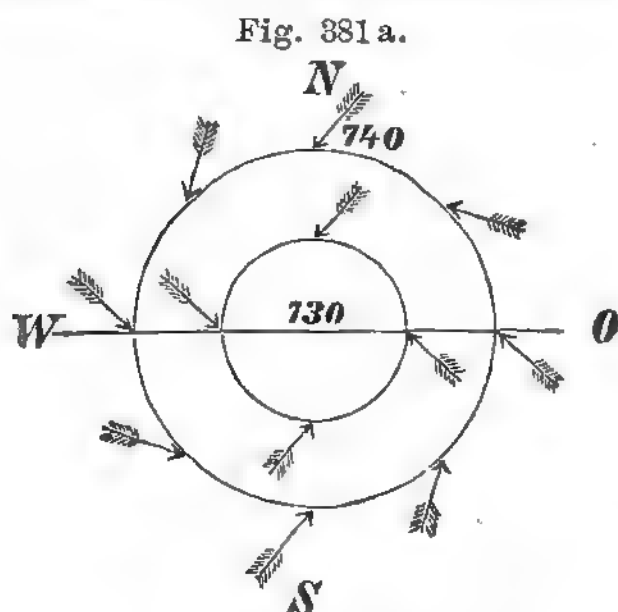
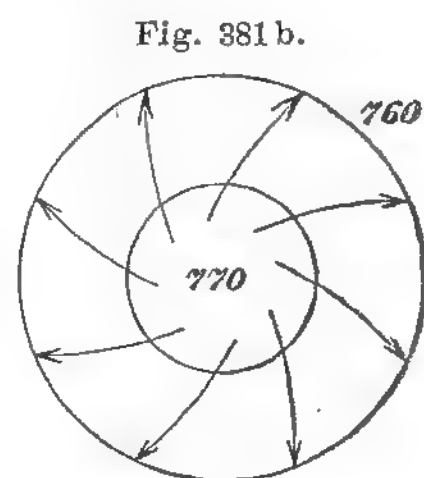


Fig. 381b.



Der S-, SW- und W-Wind sind, wenn sie, wie gewöhnlich, vom Atlantischen Ozean kommen, reich an Wasserdampf und bringen uns trübes Wetter und Regen. N-, NO- und O-Wind, welche über grofse Landstrecken dahinwehen, bringen trockene Luft und heiteres Wetter. Tritt der SO-Wind an die Stelle des O-Windes, so ist bald das Ende des guten Wetters zu erwarten.

3. **Stürme.** Ein schwacher Wind hat eine Geschwindigkeit bis zu 4 m in einer Sekunde, ein mäfsiger bis zu 7 m, ein frischer Wind bis zu 11 m, ein starker Wind bis zu 17 m. Hat der Wind eine Geschwindigkeit von mehr als 17 m, so wird er als Sturm, bei mehr als 28 m als Orkan bezeichnet. Die Geschwindigkeit oder Stärke des Windes hängt davon ab, ob die Verschiedenheit des Luftdrucks an verschiedenen Orten grofs oder gering ist. Die Verschiedenheit des Luftdrucks wird gemessen durch die Gradienten. **Der Gradient** ist der Unterschied der Barometerstände an zwei, einen Grad des Äquators oder 111 Kilometer voneinander entfernten Orten und wird nach Millimeter angegeben; der Beobachter sieht dabei von einer Isobare rechtwinklig nach der nächsten. Ist der Gradient klein, so ist die Stärke des Windes unbedeutend. Übersteigt aber der Gradient 3,4 Millimeter, so tritt Sturm ein. **Die Stürme** sind entweder ganze Zyklone (oder Wirbel) mit grofsen Gradienten oder, wie gewöhnlich bei uns, solche **Teile** von Zyklonen, welche grofse Gradienten haben.

3. Luftfeuchtigkeit, Wolken und Niederschläge.

§ 197. Der Wasserdampf in der Atmosphäre und die Hygrometer.

1. An der Oberfläche der Meere und Flüsse, des Erdbodens und der Pflanzen verdunstet beständig Wasser und verbreitet sich, ohne sichtbar zu sein, in

Dampfform durch die Atmosphäre. Jeder Raum kann aber bei einer bestimmten Temperatur **nicht mehr** als eine bestimmte Menge Wasserdampf enthalten, und zwar desto **weniger,** je **niedriger** seine Temperatur ist. Enthält die Luft so viel Dampf, als sie höchstens aufnehmen kann, so ist sie mit Wasserdampf gesättigt; sie ist feucht, wenn sie der Sättigung nahe ist; trocken, wenn sie von der Sättigung entfernt ist.

2. Die Feuchtigkeit der Luft läſst sich ungefähr mittels eines **hygroskopischen Körpers** beurteilen; so heiſsen solche Körper, die Wasserdampf aus der Luft aufnehmen und sich dabei verlängern oder ihre Windungen aufrollen. In feuchter Luft verlängern sich Haare und Fischbein. Darmsaiten drehen sich auf, und die Granne des Reiherschnabels rollt sich in feuchter Luft auf und in trockener wieder zusammen.

3. Gemessen wird der Wassergehalt der Luft durch die **Hygrometer** (oder Feuchtigkeitsmesser). Man hat genau ermittelt und darüber Tabellen entworfen, wieviel Wasserdampf bei jeder Temperatur die Luft in einem bestimmten Raume enthält, wenn sie damit gesättigt ist*). Bringt man in gesättigte Luft einen kälteren Körper, z. B. ein Glas, so erkalten die ihm nächsten Luftschichten; ihr Wasserdampf verdichtet sich zum Teil und setzt sich in der Form kleiner Tropfen an das Glas, so daſs es beschlägt. In einem mit Dampf gesättigten Raume tritt daher bei einer geringen Abkühlung **eine Kondensation** ein. Gewöhnlich ist die Luft nicht gesättigt; sie würde es aber bei unveränderter Menge des Wasserdampfes sein, wenn sie kälter wäre. Wenn man ein Glas mit Wasser, in welchem ein Thermometer steht, durch Zugieſsen von kaltem Wasser allmählich immer mehr abkühlt, so beschlägt das Glas auswendig, und das Thermometer gibt an, bei welchem Wärmegrade dies geschehen ist. Bis zu demselben Wärmegrad muſs die Luft abgekühlt werden, damit der zur Zeit des Versuchs in der Luft befindliche Wasserdampf zu ihrer Sättigung hinreicht. Der Wärmegrad, für welchen die Luft mit dem zur Zeit vorhandenen Wasserdampf gesättigt ist, heiſst der **Taupunkt.** Wieviel Wasserdampf aber gesättigte Luft bei diesem niedrigeren Wärmegrad enthält, sieht man aus den Tabellen; gerade so viel ist zur Zeit des Versuchs in der Luft enthalten.

Fig. 382.

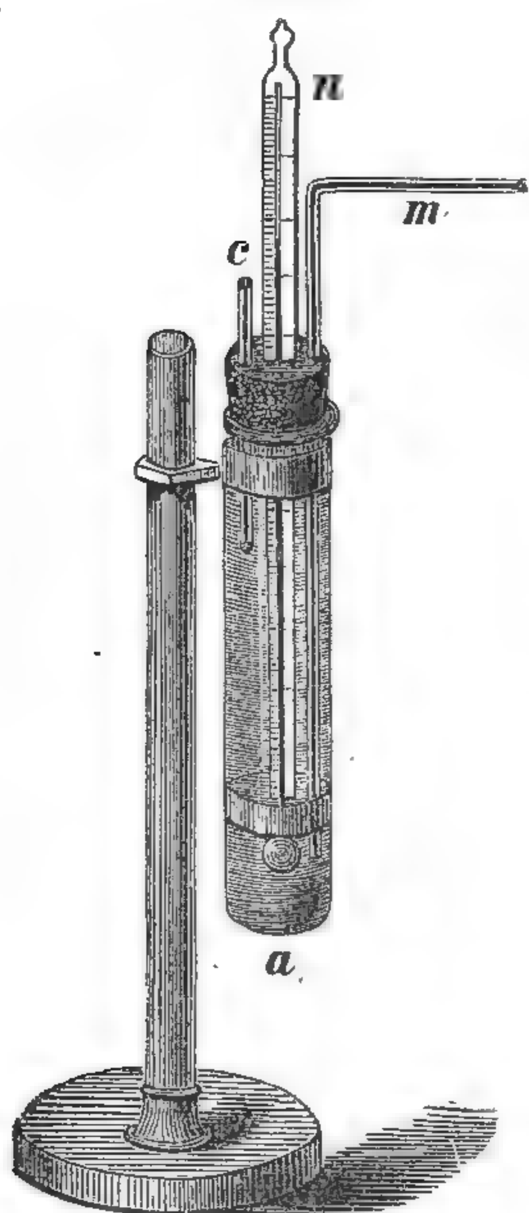
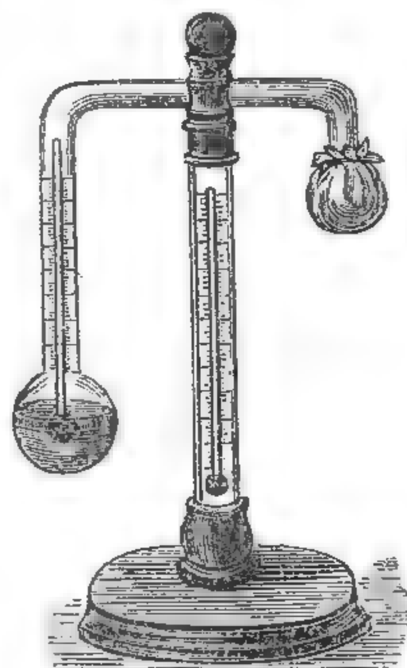


Fig. 383.



Dies Verfahren wird durch **ein Kondensationshygrometer** erleichtert; das Kondensationshygrometer von Döbereiner (Fig. 382) besteht aus einem oben offenen Glaszylinder *a*, einem darin befindlichen Thermometer *n* und einer Glasröhre *m*, welche bis auf den Boden des Zylinders hinabreicht; der dritte Teil des Zylinders wird mit Schwefeläther gefüllt, und durch die Röhre *m* Luft in die Flüssigkeit geblasen, bis der untere Teil des Zylinders sich auswendig mit Tau bedeckt; das darin befindliche Thermometer zeigt, bei welchem Wärmegrad dies geschehen ist; es gibt daher den Taupunkt an. Beim **Daniellschen Hygrometer** (Fig. 383) ist eine weite Glasröhre

*) Ein gesättigter Raum, welcher ein Kubikmeter groſs ist, enthält 3,8 g Wasserdampf bei der Temperatur von —3°; 6 g bei +3°; 10 g bei +11°; 12 g bei +14°; 17,2 g bei +20°; 22,9 g bei 25°.

zweimal umgebogen und unten mit Kugeln verschlossen. Die Röhre ist luftleer und enthält in der Kugel des längeren Schenkels Äther, dessen Dämpfe die luftleere Röhre erfüllen; in den Äther taucht ein Thermometer. Die Kugel des kurzen Röhrenschenkels ist mit Musselin umkleidet, der mit Äther begossen wird. Dieser Äther verdampft und kühlt durch den Verbrauch von Verdampfungswärme die Kugel ab. Daher vermindert sich die Spannkraft des Ätherdampfes in der weiten Röhre und übt auf den flüssigen Äther einen geringeren Druck aus, so daſs der Äther zu verdampfen beginnt, wobei ihm Verdampfungswärme entzogen wird. An dem inneren Thermometer beobachtet man, bei welcher Temperatur sich die mit einer schmalen Vergoldung versehene Kugel auſsen mit Wasserdampf beschlägt; das ist der Taupunkt. (Liegt kurz nach Sonnenuntergang der Taupunkt unter null Grad, so tritt in der Nacht Frost ein.) Aus der Trockenheit oder Feuchtigkeit der Luft in unserer Umgebung ist kein Schluſs auf das bevorstehende Wetter zu machen, weil der Wassergehalt der höheren Luftschichten ein ganz anderer zu sein pflegt.

§ 198. Tau und Reif. Rauhfrost. Glatteis.

Die Bildung des Taues ist ähnlich dem Beschlagen eines kalten Glases. In heiteren und windstillen Nächten werden die Gegenstände an der Erdoberfläche durch Wärmeausstrahlung (§ 190) kälter als die in einer Höhe von 1,5 m über ihnen befindliche Luft und nötigen den sie umgebenden Wasserdampf, zum Teil sich zu verdichten und sich in feinen Tropfen an die kalten Körper anzulegen. Weil Gras und Blätter am meisten Wärmestrahlen aussenden, aber selbst ziemlich schlechte Wärmeleiter sind und daher 6 bis 8 ^{0} unter die Lufttemperatur erkalten, werden sie vorzugsweise betaut, wogegen sich an Steine und den Erdboden weniger Tau setzt. Bei bewölktem Himmel taut es nicht, weil die Wolkendecke die Wärmestrahlung und Erkaltung des Bodens hindert; daher taut es auch unter Zelten und Decken nicht. Wind führt die Dämpfe fort und bringt wärmere Luft mit dem Erdboden in Berührung.

Wenn die Körper an der Erdoberfläche durch die nächtliche Wärmeausstrahlung sich bis unter den Gefrierpunkt abkühlen, so verdichtet sich der sie umgebende Wasserdampf zu feinen Eisnadeln, welche sich an die Körper ansetzen; es bildet sich **Reif.** Ist Nebel in der Luft, dessen Bestandteile in flüssigem Zustande unter 0^0 abgekühlt (überkaltet) sind, so erstarren sie bei Berührung mit festen Körpern sogleich zu Eis; es bildet sich **Rauhfrost**, der daher dem Wind entgegenwächst, weil der Wind immer neue überkaltete Teilchen des Nebels antreibt. **Glatteis** ist ein Eisüberzug, der sich bildet, wenn feuchte Luftströmungen mit Körpern in Berührung kommen, die stark unter den Gefrierpunkt abgekühlt sind, oder wenn überkalteter Regen fällt, dessen Tropfen beim Auftreffen sofort gefrieren.

§ 199. Nebel und Wolken.

1. Über kochendem Wasser bildet sich **Nebel**, indem die emporsteigenden Dämpfe in kältere Luft gelangen, durch Berührung mit derselben abgekühlt und zu überaus feinen Tröpfchen verdichtet werden. Überhaupt entstehen Nebel und Wolken dadurch, daſs Wasserdämpfe oder dampfreiche Luftmassen unter den Taupunkt abgekühlt werden. Indem der Dampf sich an die in der Luft schwebenden Staubteilchen, sogenannte Kondensationskerne, ansetzt, bilden sich aus ihm unzählige sehr kleine Wasserkügelchen von ungefähr 0,02 mm Durchmesser, aber keine Bläschen, wie man früher meinte. Am Abend bilden sich Nebel über dem Erdboden meist durch Abkühlung der überlagernden Luftschichten durch den Erdboden, der durch Ausstrahlung kühl geworden ist. Das Steigen des Nebels ist ein Vorzeichen des Regens, weil die Feuchtigkeit der Luft noch zunimmt, wenn der Nebel durch den aufsteigenden Luftstrom emporgeführt wird.

2. **Wolken** sind Nebel in höheren Luftschichten, und Nebel sind auf dem Erdboden liegende Wolken; Gebirgsreisende wandern oben auf den Bergen durch Nebel, während den Bewohnern der Täler die Gipfel in Wolken gehüllt

erscheinen. Die Abkühlung, durch welche Wolken entstehen, ist meist eine Folge des Aufsteigens feuchter Luft, wobei durch die stattfindende Ausdehnung Wärme verbraucht wird. Wolkenbildung findet auch statt, wenn beim Wehen eines südlichen Windes wärmere, dampfreiche Luft herbeigeströmt ist, oder wenn warme, feuchte Luftmassen von einem kälteren, nördlichen Winde getroffen werden. In einer Wolke vergehen Tröpfchen, und neue entstehen; sie ist ein fortwährend neu entstehendes und wieder vergehendes Gebilde. Wolken können in wärmere Luftschichten hinabsinken und sich in Wasserdampf auflösen, und dieser Wasserdampf kann wieder durch den emporsteigenden Luftstrom in die Höhe geführt und zu einer Wolke verdichtet werden.

Durch internationale Übereinkunft (München, 1891) werden jetzt **10 Wolkentypen** unterschieden. **Hohe Wolken:** 1. Cirrus- oder Federwolken, auch Windbäume genannt; sie sind weifs, feder- oder pinselartig; oft überziehen sie den Himmel, von zwei Gegenpunkten auslaufend, in gröfsten Kreisen. Sie sind über 8000 m hoch und bestehen aus feinen Eisnadeln (Fig. 384). Häufig entstehen sie, während das Wetter noch heiter ist, beim Herannahen einer Depression oder eines durch dieselbe veranlafsten südlichen Windes, indem die Luft von dem Minimum aus hoch emporsteigt, in den kalten Höhen nach Gegenden mit höherem Luftdruck abfliefst und eine Verdichtung ihrer Wasserdämpfe eintritt. Die Federwolken sind, wenn sie aus NW, W oder SW in Menge heraufziehen, die Vorboten schlechten Wetters. — 2. Cirro-Stratus, fedrige Schichtwolke, die als Wolkenschleier den ganzen Himmel überziehen kann. Der Schleier erzeugt häufig leuchtende, farbige Ringe um Sonne und Mond. Es sind Eisnadeln in grofser Höhe (Fig. 385). — 3. Cirro-Cumulus, weifse Schäfchenwolke, nicht unähnlich einer gelagerten Schafherde; mittlere Höhe 6500 m. Diese Wolken entstehen wahrscheinlich dadurch, dafs zuerst eine kältere Luftschicht über einer wärmeren wogenförmig weht und mit ihren Wellentälern streifenförmig in die wärmere Luftschicht eindringt, parallele Wolkenstreifen erzeugend. Ein zweites Wellensystem teilt dann die Streifen in die Schäfchen ab (Fig. 385). — **Mittelhohe Wolken:** 4. Alto-Cumulus, dickere Wolkenballen, weifs oder blafsgrau, mit Schatten, oft reihenförmig geordnet; mittlere Höhe 4000 m. — 5. Alto-Stratus, hohe Schichtwolke. Ein dichter Schleier von grauer Farbe, der die Bildung von hellen Höfen ohne farbige Ringe bewirkt; Höhe 5000 m. — **Untere Wolken** in etwa 2000 m Höhe: 6. Strato-Cumulus, dicke Wolkenballen, die namentlich im Winter den ganzen Himmel wogenförmig bedecken; oft sieht der blaue Himmel durch; Höhe über 2000 m. — 7. Nimbus, Regenwolke, dunkel und formlos; sie entsteht durch Verdichtung unterer Wolken; mittlere Höhe 1500 m. Während die Formen 1 bis 7 ihre Entstehung den grofsen, allgemeinen Luftströmungen verdanken, sind 8 bis 10 gewissermafsen **örtliche Wolken:** 8. Cumulus oder Haufenwolke, in der Sonne weifsglänzende Wolken, oben mit emporquellenden, runden Kuppen, welche oft nur 2000 m hoch sind, die aber bis 10 km Höhe hinaufreichen können (Fig. 386). Sie entstehen in den letzten Stunden schöner Vormittage durch die Abkühlung des aufsteigenden Luftstroms, senken sich oft am Nachmittag in wärmere Luftmassen hinab und lösen sich in Dampf auf. — 9. Cumulo-Nimbus, Gewitterwolke. Ähnlich dem Cumulus, unten aber in dunkle Regenwolken übergehend. — 10. Stratus, tiefe Schichtwolke. Gehobene wagerechte Nebel in Höhen unter 1000 m (Fig. 387).

§ 200. Regen, Schnee, Graupeln und Hagel.

1. Eine andauernde reichliche Kondensation von Wasserdampf in den Wolkenschichten hat Niederschläge, Regen oder Schnee zur Folge. Geschieht eine solche Verdichtung in Räumen, deren Temperatur über dem Gefrierpunkt liegt, so werden die Tröpfchen der Wolken zahlreicher, und gröfser; sie fliefsen zusammen und bilden gröfsere Tropfen, die als **Regen** herabfallen. Während des Fallens nehmen die Regentropfen an Gröfse zu, wenn sie sich durch gesättigte Luftschichten bewegen und an ihrer Oberfläche fortwährend eine Verdichtung von Wasserdampf bewirken. Hinsichtlich der Dauer des Regens unterscheidet man Landregen und Strichregen (oder Regenschauer). Der Landregen dauert längere Zeit mit mäfsiger Stärke und kleineren Tropfen;

Fig. 384. Cirrus- oder Federwolke.

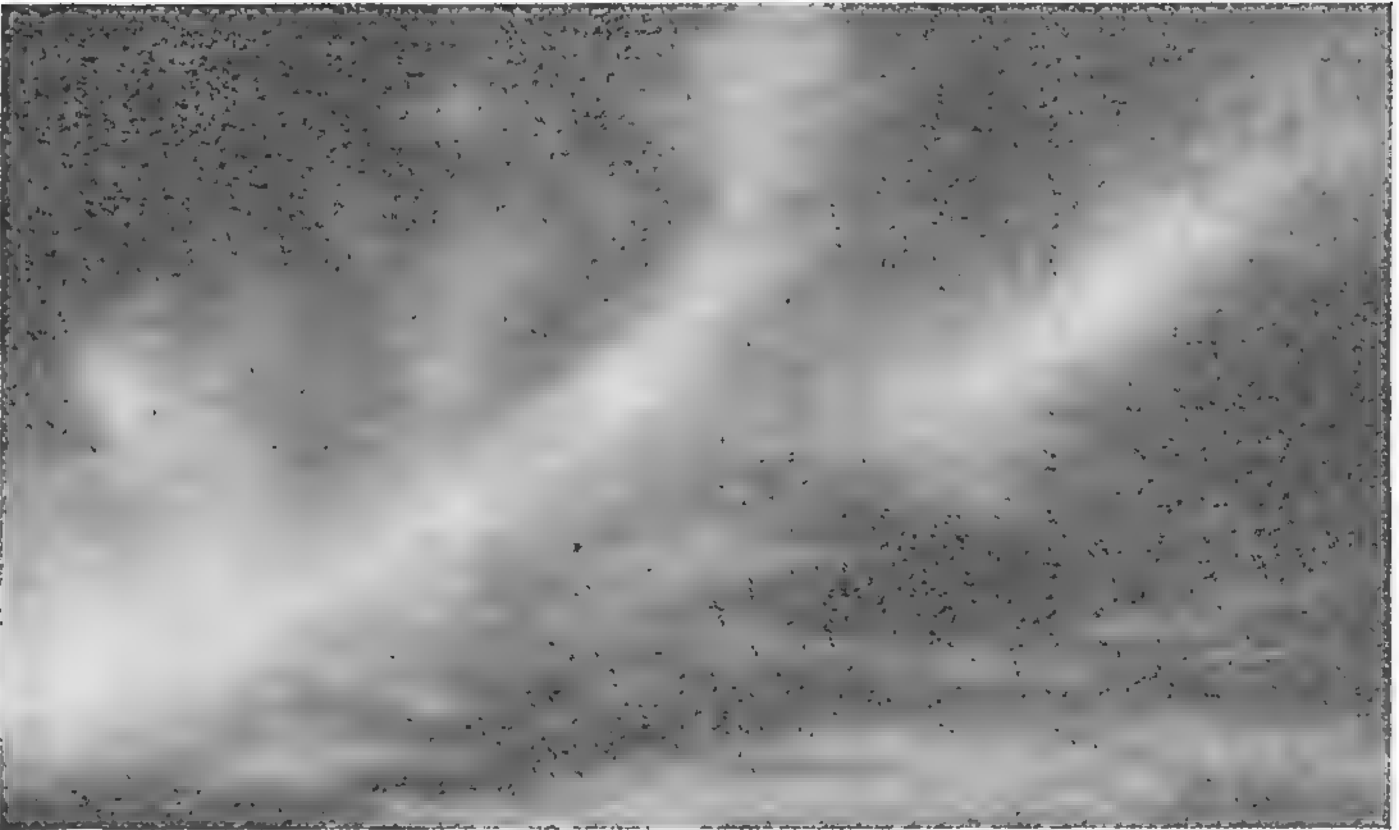


Fig. 385. Cirro-Stratus und Cirro-Cumulus.

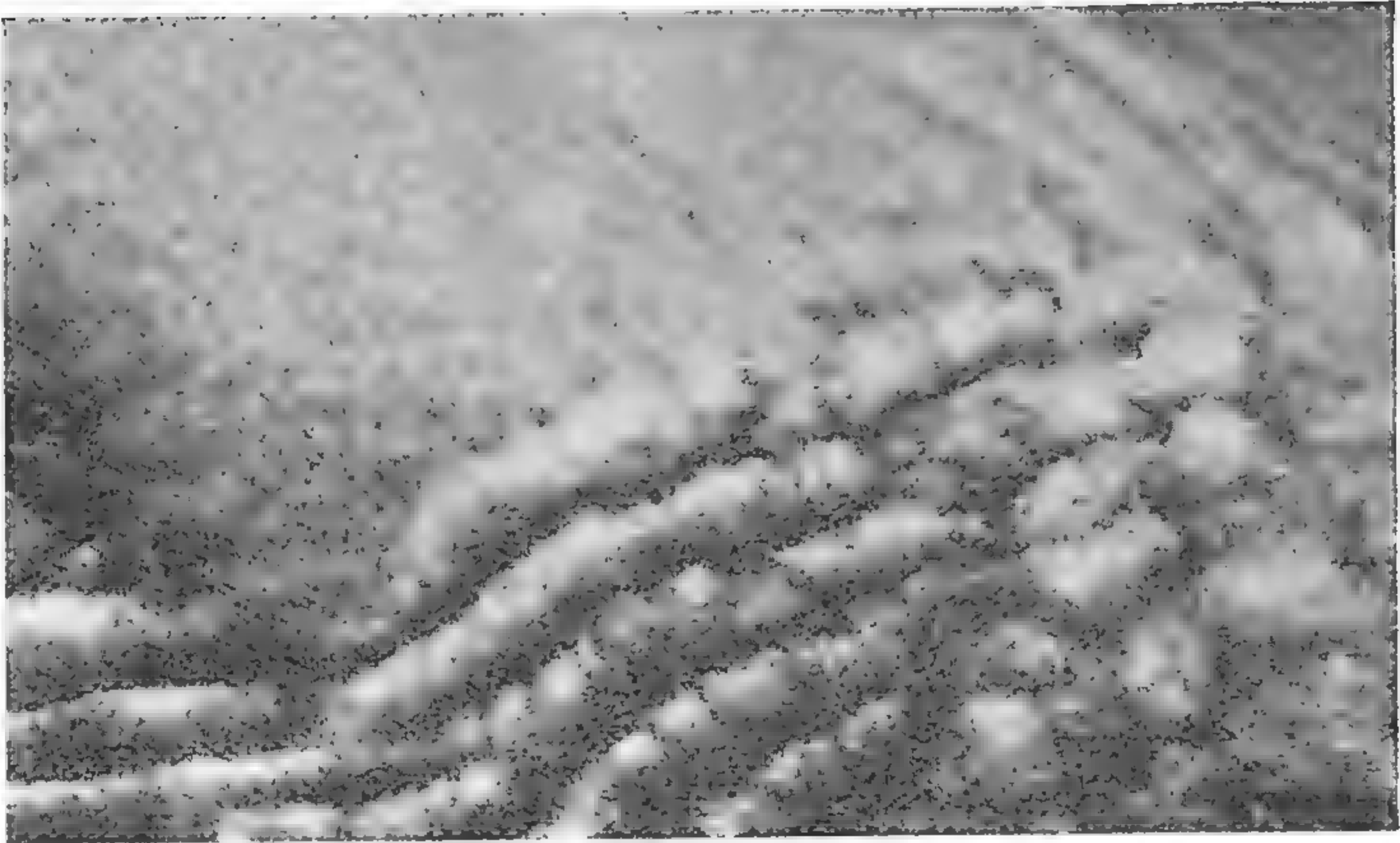


Fig. 386. Cumulus- oder Haufenwolke.

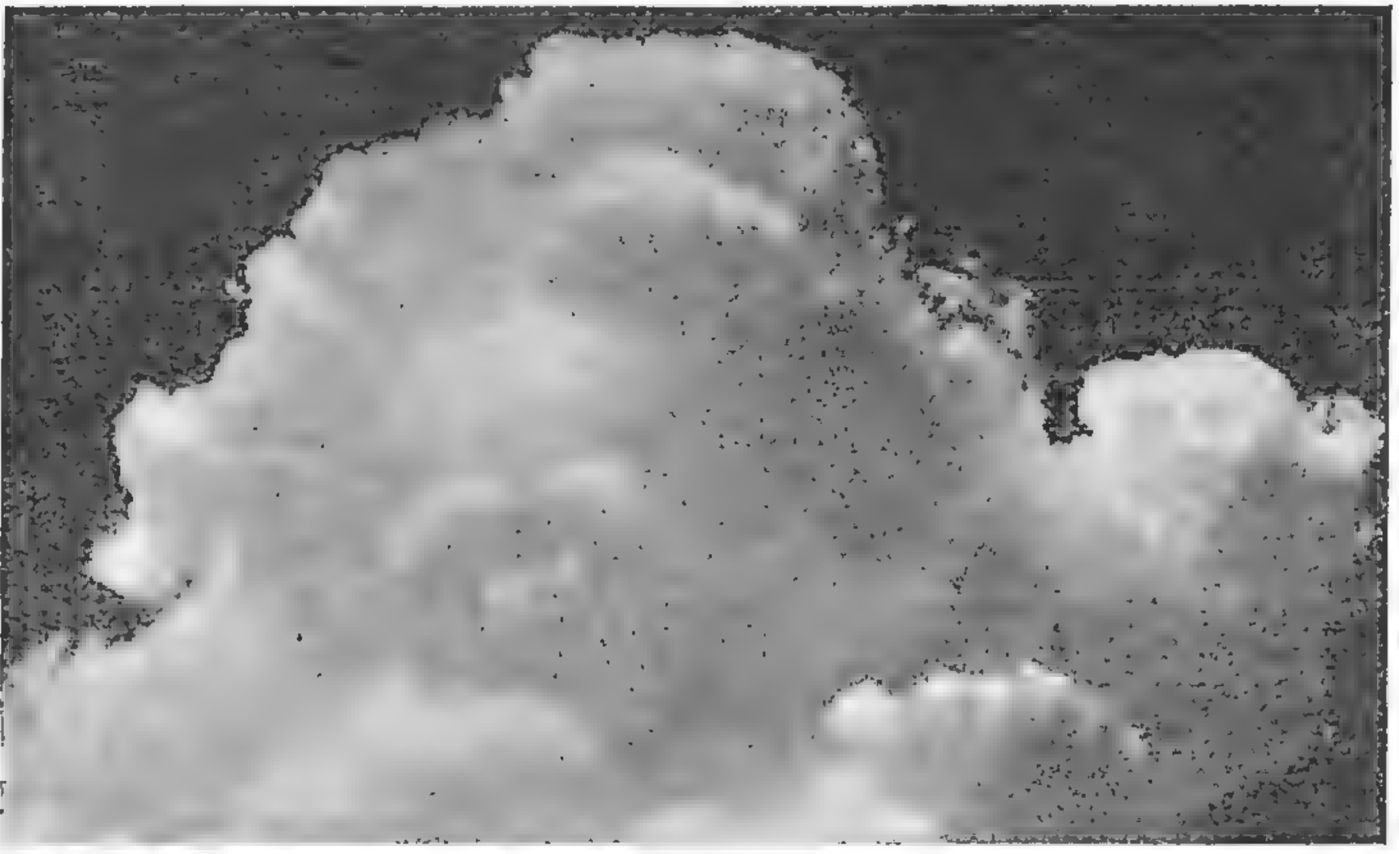
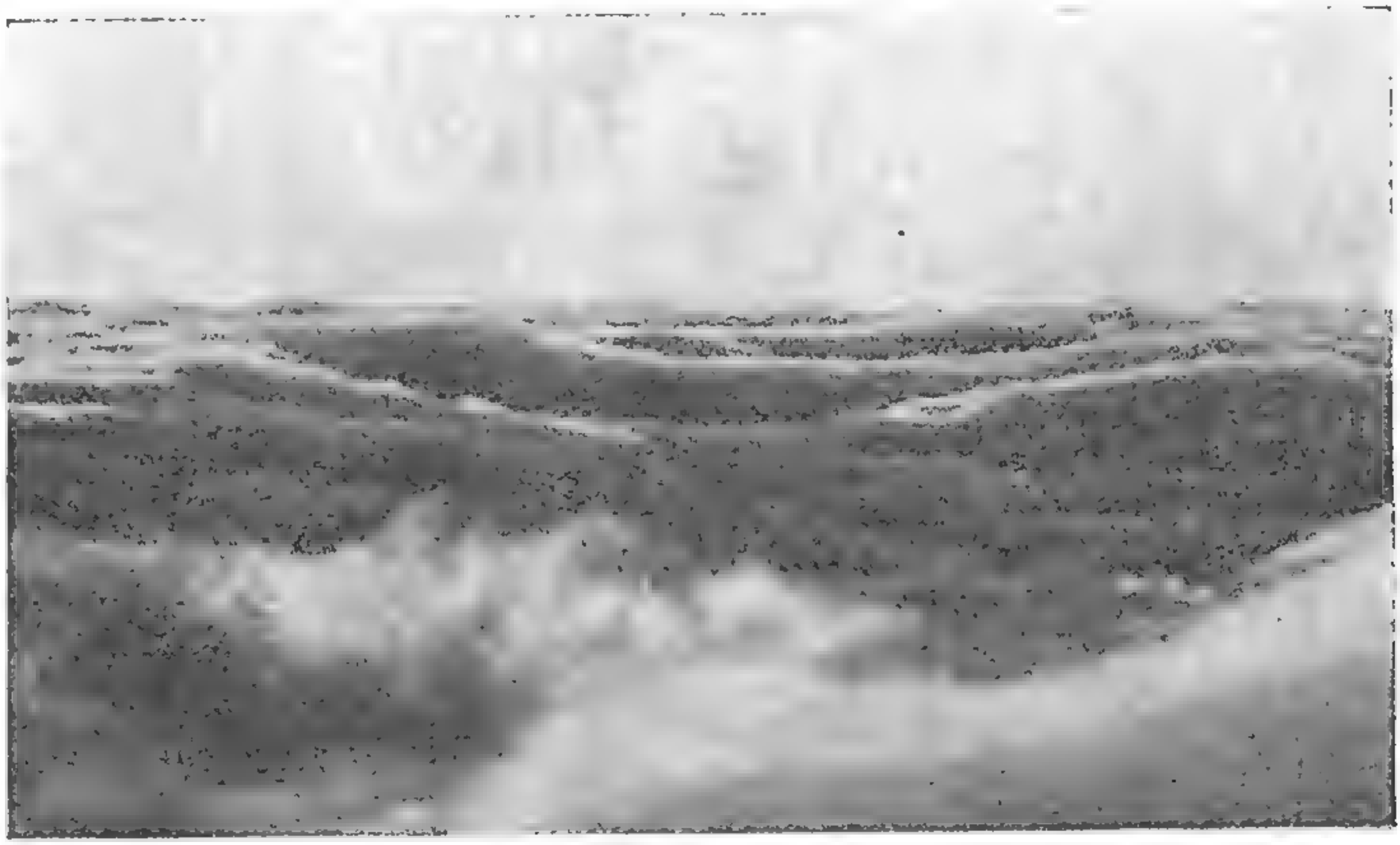


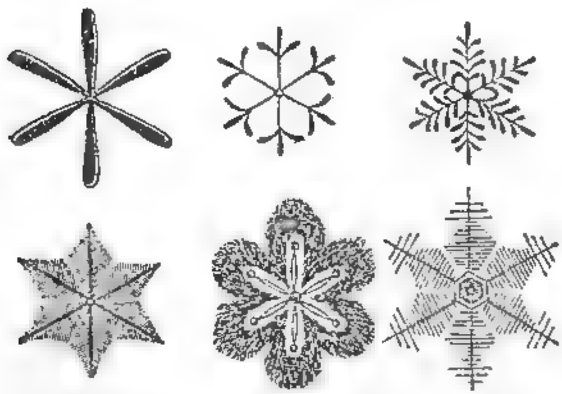
Fig. 387. Nebel in 500 m Höhe, von oben gesehen (Nebelmeer).



Aus: Hann, Lehrbuch der Meteorologie. 2. Aufl. (Chr. Herm. Tauchnitz, Leipzig.)

er entsteht durch die andauernde südliche und südwestliche Luftströmung. Der Strichregen dagegen tritt plötzlich mit grofser Heftigkeit und grofsen Tropfen auf und dauert nur kurze Zeit; er entsteht beim Gewitter und beim Eindringen des Nordwestwindes in dampfreiche, wärmere Luftmassen (§ 111, 5, II). Um die Menge des Regens, welcher durchschnittlich während eines Jahres fällt, zu bezeichnen, gibt man an, wie hoch nach einem Jahre das Regenwasser, mit Einschlufs des geschmolzenen Schnees, über dem Erdboden stehen würde, wenn es nicht von ihm aufgenommen würde, abflösse und verdunstete. Die Regenhöhe beträgt durchschnittlich in Deutschland 500, in Grofsbritannien 1000 und in der heifsen Zone 5000 mm. Diese in Millimetern angegebenen Zahlen sagen zugleich aus, wie viel Liter wässeriger Niederschlag auf ein Quadratmeter Fläche kommen. Bei uns gelangt etwa der achte Teil der Niederschläge durch die Flüsse ins Meer, während 7/8 in den Erdboden eindringen.

Fig. 388.



2. Bei Temperaturen unter dem Gefrierpunkt verdichten sich die Wasserdämpfe zu feinen Eisnadeln, welche sich zu regelmäfsigen Figuren zusammenfügen (Fig. 388). Allen diesen Figuren liegt die Form eines sechsstrahligen Sterns zugrunde. Sich anhäufend, vereinigen sich solche Schneesterne und bilden lockere **Schneeflocken** von unregelmäfsiger Gestalt.

3. **Graupeln** sind undurchsichtige, weifse Schneebällchen von 2 bis 5 mm Durchmesser, welche im Frühjahr und Herbst bei rasch eintretenden Änderungen der Temperatur und heftiger Bewegung der Luft fallen. Schneeteilchen, welche in wärmere Luftschichten hinabsinken, schmelzen an ihrer Oberfläche, werden durch Windstöfse zusammengetrieben und zu Körnern zusammengeballt.

4. Die Hagelkörner bestehen aus einem weifsen Graupelkorn und einer Eisrinde, welche dasselbe in mehreren Schichten umgibt. Die Formen sind sehr verschieden, die Gröfse kann von der Gröfse der Erbse bis zur Haselnufs, ja bis zu der eines Hühnereies schwanken, ihre Temperatur nach dem Fall von —5 ° C bis —15 ° C. Es fällt der **Hagel** in wärmeren Klimaten, nicht in den Polargegenden, im Sommer und fast nur in den heifsen Tagesstunden, sehr selten des Nachts, begleitet von Sturm, Blitz und Donner, wenige Minuten lang und verbreitet sich über einen schmalen, langen Strich Landes. Auf dem im Sommer stark erwärmten Erdboden können kurze Zeit hindurch bei windstillem Wetter wasserdampfreiche, stark erwärmte und daher leichte Luftschichten ruhen, während sich, weil die tägliche Erwärmung der Luft nicht hoch hinaufreicht, über ihnen Luftschichten befinden können, welche aufserordentlich viel kälter sind (§ 145, 2). Finden diese warmen und dampfreichen unteren Luftschichten Gelegenheit, in die kälteren Luftschichten emporzusteigen, so findet dort eine schnelle, massenhafte Wolkenbildung statt. Schneeteilchen bilden die obere Wolkenschicht und werden zu Graupelkörnern zusammengeballt durch einen Wirbelsturm, welchen die seitwärts herströmenden Luftmassen verursachen. Die darunter befindliche Wolkenschicht besteht wahrscheinlich aus überkalteten, d. h. unter null Grad abgekühlten und doch noch flüssigen Wasserteilchen, wie denn Luftschiffer solche Wolken angetroffen haben. Indem die Graupelkörner durch diese Wolkenschicht fallen, bringen sie jedes überkaltete Wassertröpfchen, das sie berühren, plötzlich zum Gefrieren und überziehen sich in kurzer Zeit mit einer dicken Eisrinde.

Vierte Abteilung.

Chemische Erscheinungen.

§ 201. Aus der Geschichte der Chemie.

1. Die Völker des Altertums hatten nur vereinzelte chemische Kenntnisse, die sie hauptsächlich bei der Bearbeitung mancher Metalle und bei der Bereitung von Farben verwerteten. Mit dem Worte **Chemeia** wurde im 4. Jahrhundert n. Chr., aber wahrscheinlich schon früher, die Kunst der Überführung unedler Metalle in Gold und Silber bezeichnet.

Das Wort **Chemeia** kommt entweder her von **Kemi** oder **Cham, Ägypten,** dem Land der schwarzen Erde, wo in frühen Zeiten der Priesterstand mit den Naturkräften schon verhältnismäfsig vertraut war, oder von dem griechischen Worte chymos (Saft).

Bis in das 18. Jahrhundert hinein galten die Metalle als zusammengesetzte Körper. Das Streben der Ägypter, mit Hilfe „des Steins der Weisen“ schmelzende unedle Metalle in edle, besonders in Gold, überzuführen, ging nach der Eroberung Ägyptens durch die Araber auf diese über; letztere bezeichneten die Goldmacherkunst als **Alchimie.** Durch die Araber kam dieselbe nach Spanien; Wifsbegierige aus den verschiedensten Ländern besuchten die dortigen arabischen Universitäten und breiteten die gesammelten Kenntnisse in ihrer Heimat aus. In dem 13. Jahrhundert fanden sich daher Alchimisten oder Adepten in Frankreich, Deutschland und bald auch in den übrigen Ländern Europas; besonders die Fürsten interessierten sich für die reichen Gewinn versprechende Kunst. Sogar hochgestellte Frauen, wie Barbara, die zweite Gemahlin des Kaisers Sigismund, treten als eifrige Alchimisten auf.

Als dann durch den Dreifsigjährigen Krieg überall in Deutschland der Wohlstand gesunken war, wurden die Alchimisten gesucht, aber auch, um dem Bekanntwerden ihres Geheimnisses vorzubeugen, streng beaufsichtigt und bewacht. So floh der im Jahre 1682 in Schleiz geborene Apotheker Böttger aus Berlin nach Sachsen, weil er wegen einer ihm angeblich gelungenen Metallverwandlung gefangen und festgehalten werden sollte; aber auch in Dresden wurde Böttger gefangen und zu alchimistischen Versuchen angehalten. Zwar gelang es ihm nicht, unechte Metalle in Gold zu verwandeln, dafür lehrte er aber die Herstellung des Porzellans und wurde 1710 Gründer der berühmten Porzellanmanufaktur in Meifsen.

2. Unterdessen hatte in der ersten Hälfte des 16. Jahrhunderts der berühmte deutsche Arzt **Paracelsus** (Philippus Aureolus Bombastus Theophrastus von Hohenheim), der jede Krankheit als durch eine falsche Mischung der Elemente im menschlichen Körper entstanden ansah, durch **chemische Heilmittel** glänzende Kuren vollbracht, manche noch jetzt geschätzte Arzneien angegeben und den Grund zur Apothekerkunst gelegt. Daher ging nun die Chemie in die Hände der Ärzte über, und als neuer Zweck der alten Kunst galt nunmehr die Heilung von Krankheiten.

3. Nachdem so die Alchimie allmählich in Vergessenheit geraten war und sich der Chemie in der Heilkunde ein wichtiges Feld ihrer Tätigkeit eröffnet hatte, suchte man seit dem 18. Jahrhundert die Körper hinsichtlich ihres Stoffes näher zu erforschen, sie in ihre Bestandteile zu zerlegen (chemische Analyse) und aus denselben wieder zusammenzusetzen (chemische Synthese). Es

wurde die Aufgabe der Chemie, die Eigenschaften der verschiedenen Stoffe zu erforschen und die Veränderung, die sie in ihrem Einwirken aufeinander erleiden. Die Engländer Boyle, Cavendish und Priestley und der Franzose Lavoisier, der ein Opfer der Guillotine ward, haben die chemische Wissenschaft durch wichtige Entdeckungen bereichert.

Faraday und Davy zu London, Dumas, Gay-Lussac und Deville zu Paris, Berzelius in Stockholm, Mitscherlich und Hofmann zu Berlin, Liebig in München, Wöhler in Göttingen, Bunsen in Heidelberg, Kolbe und Wislicenus in Leipzig sind einige der bedeutendsten Chemiker des 19. Jahrhunderts.

Den vielen tüchtigen deutschen Chemikern ist es zu danken, dafs die chemische Industrie in Deutschland die aller andern Länder überflügelt hat; wurden doch schon im Jahre 1890 in Deutschland über hunderttausend Arbeiter in der chemischen Industrie beschäftigt, und jetzt werden jährlich für mehr als 1 Milliarde chemische Produkte hergestellt, von denen mehr als der dritte Teil ins Ausland wandert.

§ 202. Chemische Vereinigungen und Zersetzungen.

1. Wenn eine Bleikugel anfängt zu fallen, so geht sie aus dem Zustande der Ruhe in den der Bewegung über; der Stoff, das Blei, bleibt dabei unverändert. Wasser geht beim Gefrieren aus dem flüssigen in den festen, beim Sieden aus dem flüssigen in den dampfförmigen Zustand über. Auch hier ändert sich nur die Form, während der Stoff ungeändert bleibt, denn auch jetzt besteht noch jedes kleinste Teilchen aus Wasserstoff und Sauerstoff; ebenso wird in einem Stahlstab der Stoff nicht geändert, wenn derselbe durch Streichen mit einem Magnetstabe aus dem unmagnetischen Zustand in den magnetischen übergeführt wird.

Alle solche Vorgänge, bei welchen nicht der Stoff, sondern nur der Zustand des Körpers sich ändert, sind **physikalische Erscheinungen**.

2. **Chemische Vereinigungen.** Mischt man Eisenpulver (ferrum pulveratum) mit Schwefelblumen in einem beliebigen Gewichtsverhältnis, so wird die Farbe um so heller erscheinen, je mehr Schwefel, um so dunkler, je mehr Eisen genommen worden ist.

Mit Hilfe einer Lupe wird man die einzelnen Schwefel- und Eisenteilchen deutlich nebeneinander erkennen können; auch sind die Teilchen mit Hilfe eines Magnets oder durch Wasser voneinander zu trennen, da das schwere Eisenpulver untersinkt, der Schwefel in seinem feinverteilten Zustand aber auf der Wasseroberfläche schweben bleibt.

Mischt man aber die beiden Stoffe nicht in einem beliebigen Verhältnisse, sondern so, dafs auf 4 Gewichtsteile Schwefel 7 Gewichtsteile Eisen kommen, und berührt man das Gemisch mit einer rotglühenden Stricknadel, so setzt sich die am Berührungspunkt entstehende Glüherscheinung bald durch die ganze Mischung fort, und man erhält an Stelle der Schwefel- und der Eisenteilchen einen völlig neuen Körper, das Schwefeleisen, dessen einzelne Teilchen weder das Aussehen noch die anderen Eigenschaften des Eisens und Schwefels besitzen; auch würde man weder durch Übergiefsen mit Wasser noch mit Hilfe eines Magnets die Eisenteilchen von den Schwefelteilchen trennen können, da jetzt jedes physikalisch kleinste Teilchen (Molekül) Schwefeleisen aus je einem Teilchen (Atom) Schwefel und einem Teilchen (Atom) Eisen besteht, die wohl durch chemische, aber nicht durch physikalische Kräfte voneinander zu trennen sind.

Alle solche Vorgänge, bei welchen der Stoff oder die Bestandteile der Körper sich ändern, sind **chemische Erscheinungen oder**

Prozesse und gehören in die Chemie, die es also mit den Stoffänderungen der Körper zu tun hat.

In den Körpern aller Lebewesen finden ununterbrochen chemische Vorgänge statt, aber auch in vielen Gewerben stellt man durch chemische Vereinigungen und Zersetzungen neue Stoffe her.

Die kleinsten **physikalisch** nicht mehr teilbaren Teilchen werden **Moleküle** (§ 52), die kleinsten **chemisch** nicht mehr teilbaren Teilchen **Atome** genannt. Auch bei den Elementen, d. h. den Körpern, die sich nicht in einfachere zerlegen lassen, können meistens die Atome nicht für sich bestehen, sondern es vereinigen sich meist immer je zwei Atome zu einem Molekül; die Moleküle des Quecksilbers, des Kadmiums, des Wismuts, des Zinks und bei sehr hoher Temperatur auch die des Broms hat man sich dagegen einatomig, die des Phosphors und des Arsens vieratomig vorzustellen.

Die Entstehung einer chemischen Vereinigung wie z. B. oben die des Eisens und des Schwefels erklärt man auf folgende Weise: Zwei Körper, die sich chemisch vereinigen, besitzen eine **chemische Anziehung**, eine **chemische Affinität** oder **Verwandtschaft** zueinander. Diese chemische Verwandtschaft, die zwischen zwei Stoffen, wie hier zwischen dem Eisen und dem Schwefel, herrscht, kommt aber nur bei einem bestimmten Temperaturgrad zur Äufserung.

Mag die chemische Affinität zwischen zwei Elementen, wie z. B. zwischen dem weiter unten zu erwähnenden Kalium und dem Sauerstoff, noch so grofs sein, beide Elemente verbinden sich doch nur dann miteinander, wenn die Temperatur hoch genug ist. Bei einer genügend tiefen Temperatur wird also das bei gewöhnlicher Temperatur an der Luft so veränderliche Kalium vollständig silberweifs bleiben.

3. **Chemische Zersetzungen.** Wie sich Körper aus ihren Bestandteilchen zusammensetzen lassen, so lassen sich auch die Verbindungen wieder in die Elemente oder in einfachere Verbindungen zerlegen. Diese Zersetzungen erfolgen unter den Einflüssen der **Wärme,** des **Lichts**, der **Elektrizität** und der **stärkeren Verwandtschaft eines dritten hinzutretenden** Stoffes. Dabei können entweder die genannten Energien jede für sich allein wirken — so vermag die **Wärme** Holz bei Luftabschlufs in Wasserdampf (H_2O), Kohlendioxyd (CO_2), verschiedene andere Gase und in Asche zu zerlegen; das **Licht** zerlegt Bromsilber in Brom und Silber, der **elektrische Strom** scheidet aus Kupfervitriollösung (schwefelsaures Kupfer) das Kupfer aus; und die **stärkere chemische Verwandtschaft** des Kaliums zum Sauerstoff des Wassers befähigt das Kalium, an Stelle des Wasserstoffs im Wasser einzutreten ($H_2O + K = KOH + H$) — oder mehrere der vier genannten Energieformen wirken gleichzeitig auf die zu zerlegenden Verbindungen ein; so begünstigt z. B. immer eine höhere Temperatur den Verlauf des chemischen Prozesses. Damit steht in Zusammenhang, dafs zusammengesetzte Körper energischer im flüssigen als im festen und stärker im dampfförmigen als im flüssigen Zustande aufeinander zersetzend einwirken; früher war man sogar der Ansicht, dafs die Körper nur im gelösten Zustande aufeinander reagieren könnten.

§ 203. Die Elemente, ihre Atomgewichte, Zeichen und Wertigkeit.

1. Beim Zerlegen zusammengesetzter Körper erhält man Stoffe, die sich mit den der Wissenschaft zu Gebote stehenden Hilfsmitteln nicht weiter zerlegen lassen. **Solche Körper, die sich nicht in einfachere zerlegen lassen, nennt man Grundstoffe, einfache Stoffe oder Elemente.** Bis jetzt nimmt man mehr als 70 Elemente an, die man in **Metalle** und in **Nichtmetalle** oder **Metalloide** einteilt.

Ein scharfer Unterschied zwischen beiden Gruppen lä̈fst sich nicht aufstellen, doch kommt das glänzend „metallische“ Aussehen meist nur den Metallen zu; auch unterscheiden sie sich als gute Wärme- und Elektrizitätsleiter von den meisten Metalloiden. Zu diesen physikalischen Unterscheidungsmerkmalen kommen noch die chemischen, wonach im all-

gemeinen nur die Sauerstoffverbindungen der Metalloide Säuren bilden; soweit diese sich in Wasser lösen, schmecken die Lösungen sauer und färben blaues Lackmuspapier rot, während im allgemeinen die Sauerstoffverbindungen der Metalle, soweit sie im Wasser löslich sind, demselben einen ätzenden Geschmack verleihen und rotes Lackmuspapier blau färben. Man bezeichnet dann die Sauerstoffverbindungen der Metalle als Basen.

Ob übrigens unsere „Elemente" wirkliche Elemente sind, oder ob sich dieselben doch noch durch uns zurzeit nicht zu Gebote stehende Kräfte zerlegen lassen, läfst sich nicht ohne weiteres sagen.

Unter den bekannteren Elementen sind bei gewöhnlicher Temperatur luftförmig Sauerstoff, Wasserstoff, Stickstoff und Chlor, flüssig Brom und Quecksilber, während die übrigen feste Körper sind. Die wichtigeren Grundstoffe sind aufgeführt in folgender

Tabelle der Elemente.

Aluminium	Al.	27	Jod	J	127	Sauerstoff (Oxygenium)	O	16
Antimon (Stibium)	Sb	120	Kalium	K	39	Schwefel	S	32
Arsen	As	75	Kobalt	Co	59	Silber (Argentum)	Ag	108
Baryum	Ba	137	Kohlenstoff (Carboneum)	C	12	Silicium	Si	28
Blei (Plumbum)	Pb	207	Kupfer	Cu	63,5	Stickstoff (Nitrogenium)	N	14
Bor	B	11	Magnesium	Mg	24	Strontium	Sr	87,5
Brom	Br	80	Mangan	Mn	55	Wasserstoff (Hydrogenium)	H	1
Calcium	Ca	40	Natrium	Na	23	Wismut (Bismutum)	Bi	209
Cadmium	Cd	112	Nickel	Ni	59	Zink	Zn	65
Chlor	Cl	35,5	Phosphor	P	31	Zinn (Stannum)	Sn	118,5
Chrom	Cr	52	Platin	Pt	195			
Eisen (Ferrum)	Fe	56	Quecksilber (Hydrargyrum)	Hg	200			
Fluor	Fl	19						
Gold (Aurum)	Au	197						

2. Die in der Chemie angewendete Zeichensprache hat den Vorzug grofser Kürze. Man hat jedem Element **ein chemisches Zeichen** oder **Symbol** gegeben, gebildet aus den Anfangsbuchstaben oder, wenn dies zur Unterscheidung notwendig, aus zwei Buchstaben seiner lateinischen Benennung.

Es bedeutet aber z. B. Ni nicht blofs Nickel, sondern 58 Gewichtsteile Nickel. Gehen in eine Verbindung mehrere Atome ein, so wird dies durch eine kleine Zahl rechts unterhalb des Elementenzeichens angedeutet. Die Formel H_2O sagt also, dafs 2 Atome Wasserstoff mit einem Atom Sauerstoff ein Molekül Wasser bilden, oder, mit Rücksicht auf die Atomgewichte, dafs 2 mal 1 Gewichtsteil Wasserstoff mit 16 Gewichtsteilen Sauerstoff 18 Gewichtsteile Wasser ergeben.

Dieser chemische Vorgang wird durch die **chemische Gleichung** $2H + O = H_2O$ dargestellt. Links vom Gleichheitszeichen stehen die Stoffe, die aufeinander einwirken; rechts steht das Ergebnis des chemischen Prozesses.

3. Nach der Daltonschen Atomlehre haben alle Atome ein und desselben Elementes dasselbe Gewicht; die Atome der verschiedenen Elemente haben aber verschiedene Gewichte. Das leichteste Element ist der Wasserstoff. Nimmt man das Gewicht eines Atoms Wasserstoff als Einheit, so gibt die in der Tabelle hinter jedem Elemente stehende Zahl das Gewicht eines Atoms des betreffenden Elementes an. Das **Atom-** oder **Verbindungsgewicht** des Eisens ist 56, das des Schwefels 32; wenn Eisen und Schwefel sich zu einfachem Schwefeleisen verbinden, so vereinigen sich stets 56 g Eisen mit 32 g Schwefel, oder 7 g Eisen mit 4 g Schwefel, wie wir dies schon oben in dem S. 240 angegebenen Versuche sahen ($Fe + S = FeS$). 35,5 g Chlor vereinigen sich mit 23 g Natrium zu Chlornatrium oder Kochsalz. Die Gleichung $Na + Cl = NaCl$ drückt also aus, dafs 23 Gewichtseinheiten Natrium und 35,5 Gewichtseinheiten Chlor sich zu 58,5 Gewichtseinheiten Chlornatrium oder Kochsalz verbinden. Wird von dem einen Element etwas mehr genommen, als dem Verhältnis 23 : 35,5 entspricht, so geht der Überschufs nicht in die Verbindung ein.

Die Vereinigung der Elemente geschieht daher stets nach ganz bestimmten Gewichtsverhältnissen und kann nach dem einfachen Verhältnis iher Verbindungsgewichte vor sich gehen.

Aber die Vereinigung der Elemente erfolgt nicht immer nach dem einfachen Verhältnis der Verbindungsgewichte. Im Gegensatz zu dem vorerwähnten Einfach-Schwefeleisen ist der in der Natur vorkommende Schwefelkies nach der Formel FeS_2 zusammengesetzt, so dafs also auf 1 Atom Eisen immer 2 Atome Schwefel kommen. Es verhalten sich also die Gewichtsmengen von Schwefel zu Eisen im Schwefelkies nicht wie 4 : 7, sondern wie 8 : 7.

Ebenso bilden Stickstoff und Sauerstoff fünf verschiedene Verbindungen untereinander, die den Formeln N_2O, N_2O_2, N_2O_3, N_2O_4, N_2O_5 entsprechen, so dafs sich also 2 Atome Stickstoff mit 1—5 Atomen Sauerstoff verbinden können.

Die Vereinigung der Elemente kann daher auch geschehen nach dem Verhältnis des Vielfachen der Verbindungsgewichte **(Gesetz der multiplen Proportionen).**

4. Eine Anzahl wichtiger zusammengesetzter Körper nebst ihren chemischen Formeln sind zusammengestellt in folgender Tabelle chemischer Verbindungen.

Tabelle chemischer Verbindungen.

Acetylen C_2H_2	Eisenvitriol $FeSO_4 + 7H_2O$	Kupfervitriol $CuSO_4 + 5H_2O$
Äther $(C_2H_5)_2O$	Essigsäure CH_3COOH	Pottasche K_2CO_3
Äthylalkohol $C_2H_5 . OH$	Gips $CaSO_4 + 2H_2O$	Quecksilberoxyd HgO
Ätzkali KOH	Glaubersalz $Na_2SO_4 + 10H_2O$	Salmiak NH_4Cl
Ätznatron $NaOH$	Gruben- oder Sumpfgas (Methan) CH_4	Salpeter (Kalisalp.) KNO_3
Alaun $Al_2(SO_4)_3 + K_2SO_4 + 24H_2O$	Höllenstein $AgNO_3$	Salpetersäure NO_3H
Ammoniak NH_3	Kaliumpermanganat (Übermangansaures Kali) $KMnO_4$	Salzsäure (Chlorwasserstoff) HCl
Arsenik As_2O_3	Kalk CaO	Schwefelkohlenstoff CS_2
Bittersalz $MgSO_4 + 7H_2O$	Kochsalz $NaCl$	Schwefelsäure H_2SO_4
Borax $Na_2B_4O_7 + 10H_2O$	Kohlenoxyd CO	Schwefelwasserstoff H_2S
Braunstein MnO_2	Kohlendioxyd(Kohlensäureanhydrid) CO_2	Schweflige Säure H_2SO_3
Bullrichs Salz $NaHCO_3$		Soda Na_2CO_3
Cellulose $C_6H_{10}O_5$		Wasser H_2O
Chlorsaures Kali $KClO_3$		Zinkweifs ZnO

Wie die Tabelle angibt, ist die Formel des Chlorwasserstoffs oder der Salzsäure HCl und lehrt, dafs darin 1 Atom Chlor mit 1 Atom Wasserstoff verbunden ist.

Im Molekül Wasser H_2O ist 1 Atom Sauerstoff mit 2 Atomen Wasserstoff vereinigt. Jedes Molekül Ammoniak NH_3 enthält 1 Atom Stickstoff und 3 Atome Wasserstoff; endlich bindet im Gruben- oder Sumpfgas CH_4 immer 1 Atom Kohlenstoff 4 Atome Wasserstoff. Die Anzahl der Wasserstoffatome, mit welchen 1 Atom eines Elements sich zu verbinden pflegt, oder welche 1 Atom dieses Elements in Verbindungen zu vertreten imstande ist, heifst **die Wertigkeit oder Valenz des Elementes.**

Es ist demnach Cl in HCl einwertig, O in H_2O zweiwertig, N in NH_3 dreiwertig und B in CH_4 vierwertig.

Die Wertigkeit ein und desselben Elementes ist aber nicht immer konstant; so ist z. B. Eisen im Eisenoxydul FeO zweiwertig, im Eisenoxyd Fe_2O_3 ist es dagegen dreiwertig. Einwertig sind folgende Elemente: H, Br, Cl, J, K, Na, Ag; stets oder meist zweiwertig sind: Ba, Pb, Ca, Fe, Cu, Mg, Mn, Ni, Hg, O, S, Zn; meist dreiwertig sind: Sb, As, An, P, N, Bi und vierwertig: C, Pt, Si, Sn.

Aus einer Verbindung vermag 1 Atom eines einwertigen Elements nur 1 Atom Wasserstoff zu verdrängen, indem es dessen Stelle einnimmt. So ver-

mag 1 Atom Natrium 1 Atom Wasserstoff im Wassermolekül zu ersetzen: $Na + H_2O = H + NaOH$. Dagegen verdrängt 1 Atom eines zweiwertigen Elements aus einem Molekül einer Verbindung 2 Wasserstoffatome. So verdrängt 1 Atom Zink, wenn es in 1 Molekül Schwefelsäure tritt, 2 Atome Wasserstoff: $Zn + H_2SO_4 = 2H + ZnSO_4$.

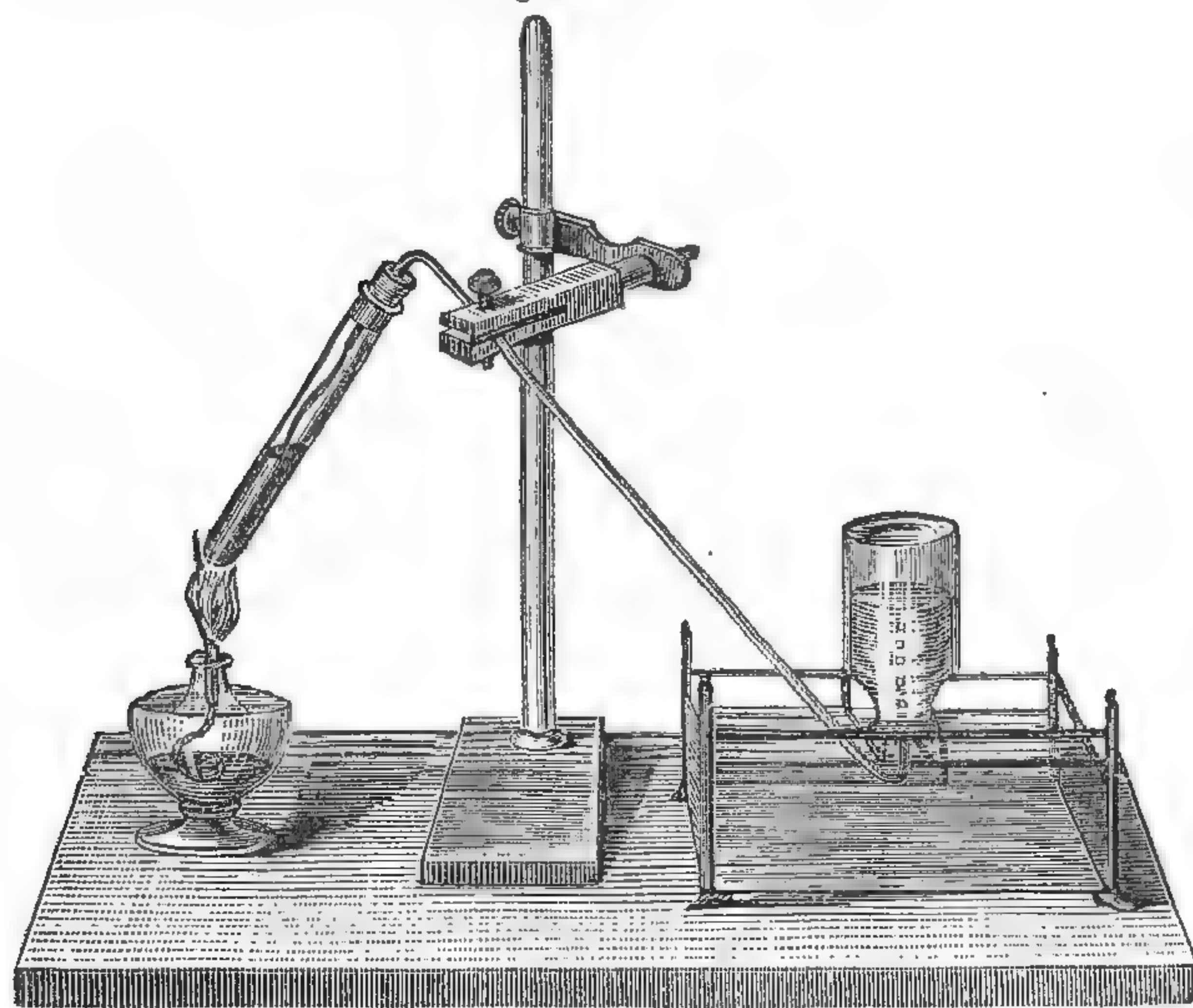
§ 204. Der Sauerstoff.

1. Der Sauerstoff (O = Oxygenium) ist 1774 durch Priestley und fast gleichzeitig durch Scheele entdeckt worden. Den Namen Sauerstoff oder Oxygenium (Säureerzeuger) hat das Element deshalb erhalten, weil sich die Verbindungen einer Anzahl von Elementen, z. B. von Schwefel, Kohlenstoff, Phosphor, Arsen, Antimon, mit Sauerstoff im Wasser lösen und demselben einen sauren Geschmack verleihen. Sauerstoff kann man durch Erhitzen des roten Quecksilberoxyds HgO gewinnen. Man bringt Quecksilberoxyd in eine Retorte oder in einen Probierzylinder von schwer schmelzbarem Glase, befestigt luftdicht mit Hilfe eines Kork- oder Gummistopfens in der Öffnung derselben eine Gasleitungsröhre aus Glas und taucht die untere Öffnung derselben oder einen an der Gasleitungsröhre befestigten Gummischlauch in eine mit Wasser gefüllte Wanne, eine pneumatische Wanne, und zwar unter die Durchbohrung des wagerechten Metallstreifens, welcher die Brücke der Wanne heifst.

Wird nun das Quecksilberoxyd in der Retorte durch einen Bunsenbrenner oder durch eine Spiritusflamme erhitzt, so steigen aus der Gasleitungsröhre durch das Wasser in der Wanne Luftblasen auf, während die Retorte anfängt, sich inwendig mit Quecksilberkügelchen zu beschlagen. Das Quecksilber zeigt seinen halbedlen Charakter darin, dafs es sich zwar bei etwa 300 ⁰ mit Sauerstoff zu Quecksilberoxyd verbindet, dafs aber diese Verbindung bei noch höherer Temperatur (ca. 500 ⁰) wieder in ihre Elemente zerfällt.

Keine andere Metall-Sauerstoffverbindung vermögen wir mit der uns zu Gebote stehenden Wärme in Metall und Sauerstoff zu zerlegen. — Um Sauerstoff oder eine andere Luftart, die vom Wasser nicht zu stark absorbiert wird, aufzufangen, füllt man ein Glas mit Wasser, verschliefst seine Öffnung mit der Hand oder mit einer Glasplatte und stellt es umgekehrt ins Wasser der pneumatischen Wanne. Entfernt man dann die Hand oder die Glasplatte, so läuft kein Wasser aus dem Glase, weil der Druck der über dem Wasser der Wanne befindlichen atmosphärischen Luft es daran verhindert; bald steigen aber Luftblasen aus der Gasleitungsröhre in das Glas empor. Ist das Glas ganz mit der Luftart angefüllt, so verschliefst man es mit einer Glasplatte oder mit einem Kork.

Fig. 389.



Aus Quecksilberoxyd wurde zuerst der Sauerstoff von Priestley hergestellt, und auch jetzt pflegt man diesen Versuch noch auszuführen, weil er gleichzeitig zeigt, wie ein Metalloxyd durch Wärme in das Metall und Sauerstoff zerlegt werden kann. Man erhält ferner Sauerstoff und gleichzeitig Wasserstoff, wenn man durch mit Schwefelsäure angesäuertes Wasser den galvanischen Strom hindurchschickt (§ 34), ferner auch, wenn man Wasserpflanzen (z.B. Wasserpest, Elodea canadensis) in kohlensäurehaltigem Wasser dem Sonnenlicht aussetzt. Über die Pflanzen bringt man einen Trichter und über diesen ein mit Wasser gefülltes Reagenzgläschen (Fig. 390). Die Pflanze entnimmt dem Wasser das Kohlendioxyd, stellt unter Einwirkung der Sonnenstrahlen mit Hilfe des Blattgrüns aus dem Wasser und der Kohlensäure in den Zellen Stärke oder Zucker her und gibt Sauerstoff frei, den man in dem Reagenzgläschen aufsteigen sieht und dort ansammeln kann. Im grofsen stellt man jetzt Sauerstoff aus der atmosphärischen Luft, der man vorher den Wasserdampf und das Kohlendioxyd entzogen hat, her, z. B. durch Erhitzen von Baryumoxyd an der Luft, wodurch dasselbe Sauerstoff aufnimmt, den es bei stärkerem Erhitzen wieder abgibt. (Baryumoxyd verhält sich hier also wie Quecksilber.) Man kann aber jetzt auch Sauerstoff direkt aus der atmosphärischen Luft (§ 206, S. 251) herstellen, indem man nach dem Lindeschen Verfahren (§ 180,3) die Luft verflüssigt und wieder verdampft; da der Stickstoff der Luft schneller verdampft als der Sauerstoff, so kann man auf diese Weise einen Sauerstoff von beliebiger Reinheit erhalten.

Fig. 390.

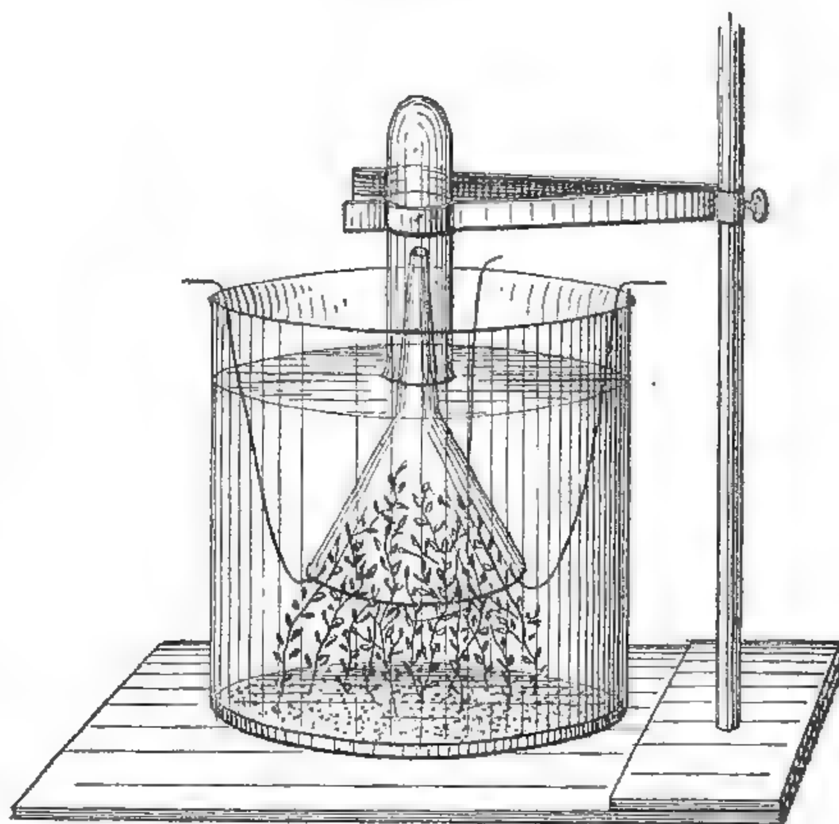
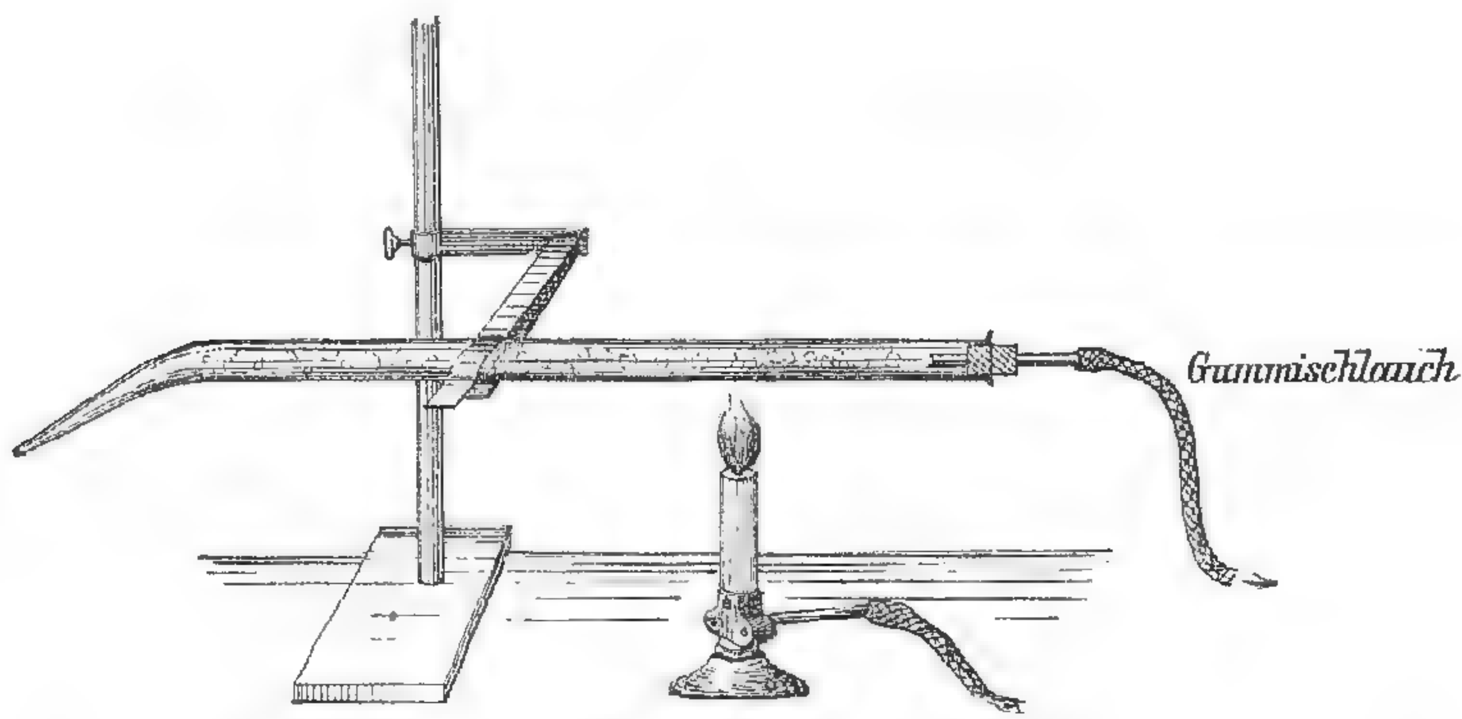


Fig. 391.



Um Sauerstoff zu Schulversuchen zu gewinnen, kann man chlorsaures Kali ($KClO_3$) mit etwas Braunstein (MnO_2) vermischt in eine Verbrennungsröhre bringen, in die vorn mittels eines Korks eine Glasröhre eingesetzt ist, an welcher ein Schlauch befestigt wird, der nach der pneumatischen Wanne führt.

Erhitzt man dann mit Hilfe eines Bunsenbrenners die Röhre vom Kork anfangend, so entwickelt sich sehr schnell Sauerstoff durch Zersetzung von chlorsaurem

Kali nach der Formel $KClO_3 = KCl + 3\,O$ (Fig. 391). Will man mit dem erhaltenen Sauerstoff Versuche ausführen, so kann man durch Wegnahme des Brenners die Entwicklung des Sauerstoffs beliebig unterbrechen; doch kann man auch die Entwicklung bis zur vollständigen Zersetzung des chlorsauren Kalis fortsetzen, wenn man den erhaltenen Sauerstoff erst in einen Gasometer leitet, von dem aus derselbe dann zur Verwendung kommt. Zum Nachweis des Sauerstoffs bringt man an die Öffnung der Entwicklungsröhre einen glimmenden Holzspan; der Kohlenstoff verdichtet den Sauerstoff auf sich, und infolge der Gasverdichtung entsteht dann so viel Wärme, dafs das Holz zur Entzündung kommt. Bringt man in einen mit Sauerstoff gefüllten Zylinder mit Hilfe eines Löffelchens ein Stück an der Luft mattblau brennenden Schwefels, so sieht man denselben in dem Sauerstoff mit schön blauer Farbe hell brennen; er verbrennt zu Schwefeldioxyd SO_2, ein Gas, das sich mit Wasser zu schwefliger Säure verbindet ($SO_2 + H_2O = SO_3H_2$); Phosphor verbrennt im Sauerstoff mit aufserordentlichem Lichtglanz zu einem weifsen Nebel: Phosphorsäureanhydrid (d. h. Phosphorsäure ohne Wasser), das sich mit Wasser zu Phosphorsäure verbindet ($P_2O_5 + 3\,H_2O = 2\,PO_4H_3$). Befestigt man an einem Uhrfederdraht ein Stück Zunder, entzündet letzteren und bringt ihn dann in ein mit Sauerstoff gefülltes Gefäfs, so brennt zunächst der Zunder mit hellem Licht und bringt dann ebenfalls den Uhrfederdraht unter lebhaftem Funkensprühen zum Verbrennen.

Die genannten Versuche zeigen, dafs die betreffenden Körper im **Sauerstoff mit viel gröfserer Lebhaftigkeit** verbrennen als in gewöhnlicher atmosphärischer Luft. Ebenso unterhält der **Sauerstoff das Atmen** viel lebhafter als die uns umgebende Luft.

Da der Sauerstoff nicht nur in der atmosphärischen Luft enthalten ist (dieselbe enthält 21 %), sondern auch im Körper aller Lebewesen sowie auch in den meisten Mineralien (besteht doch die Erdrinde aus 40—50 %), so ist er das verbreitetste aller chemischen Elemente.

2. Schönbein beobachtete im Jahre 1839, dafs der durch Zersetzung von verdünnter Schwefelsäure mittels des galvanischen Stromes dargestellte Sauerstoff den eigentümlichen Geruch besafs, wie er sich in der Nähe einer in Tätigkeit gesetzten Elektrisiermaschine findet. Er entdeckte, dafs der Sauerstoff durch die Elektrizität in einen besonderen Zustand versetzt wird, in welchem er sich durch kräftigere chemische Wirkungen auszeichnet, und nannte den Sauerstoff in diesem Zustande **Ozon** oder aktiven Sauerstoff. Sauerstoff wird auch zu Ozon, wenn er über Phosphor geleitet wird, ferner durch Schütteln von Luft mit Terpentinöl; auch wenn gröfsere Mengen Wasser rasch verdunsten, wie es bei Gradierwerken der Fall ist, entsteht Ozon. Bei der Überführung von Sauerstoff in Ozon tritt eine Verdichtung ein; es hat sich ergeben, dafs das Ozonmolekül drei Atome Sauerstoff enthält, während der gewöhnliche Sauerstoff nur zweiatomig ist. Die heftigere Wirkung des Ozons beruht darauf, dafs dieser dreiatomige Sauerstoff leicht in gewöhnlichen Sauerstoff und einatomigen Sauerstoff zerfällt; aber im Atomzustande wirken die Elemente energischer als im Molekularzustande. Ozon verbindet sich daher leichter mit Metall als gewöhnlicher Sauerstoff; es zerstört organische Stoffe, bleicht Pflanzenfarben und zersetzt Jodkalium in Kalium und Jod, und da letzteres Stärkemehl blau färbt, so weist man Ozon nach mit Streifen von weifsem Fliefspapier, welche man in mit Jodkalium versetzten Stärkekleister getaucht hat. Bei geringer Ozonmenge färbt sich das Papier schwach rötlich oder bläulich, bei gröfserer tiefblau.

Die zerstörende Wirkung des Ozons auf organische Stoffe benutzt man jetzt, um mit Hilfe des Ozons gutes, keimfreies Trinkwasser herzustellen.

3. Der Sauerstoff bildet mit allen Elementen aufser mit Fluor Verbindungen.

Die Vereinigung eines Körpers mit Sauerstoff heifst **Oxydation;** eine Oxydation unter Licht- oder Wärmeerregung ist eine Verbrennung; doch gibt es auch Verbrennungen, die nicht aus einer Vereinigung eines Elements mit Sauerstoff, sondern mit anderen Elementen, z. B. mit Chlor, hervorgehen. Unter den Oxyden sind die **säurebildenden** und **basenbildenden** voneinander zu unterscheiden.

Wie schon oben erwähnt, entstehen beim Verbrennen von Schwefel und Phosphor usw. im Sauerstoff Schwefeldioxyd und Phosphorpentoxyd, die mit Wasser schweflige bezw. Phosphorsäure bilden. Alle Säuren enthalten Wasserstoff und zeichnen sich meistens dadurch aus, dafs sie einen sauren Geschmack besitzen und blaue Pflanzenfarbstoffe, z. B. Lackmus, rot färben. Die Oxyde unterscheidet man, je nachdem dieselben in einem Molekül ein, zwei oder drei Atome Sauerstoff enthalten, als Monoxyde, Dioxyde oder Trioxyde. — Verbrennt man Natrium in Sauerstoff, so entsteht das Natriumoxyd oder Natron ($2 Na + O = Na_2O$); mit Wasser bildet Natron Ätznatron ($Na_2O + H_2O = 2 NaOH$); dieses löst sich in Wasser auf, die Lösung schmeckt laugenhaft und färbt durch eine Säure gerötetes Lackmuspapier wieder blau. Einen derartigen Körper nennt man eine **Basis** oder **Base.** Die Basen haben also meist einen laugenhaften Geschmack und färben rotes Lackmuspapier blau. Unter den basenbildenden Oxyden heifsen die wenig Sauerstoff enthaltenden Oxydule, die sauerstoffreicheren Oxyde im engeren Sinne.

Dafs Säuren blaue Pflanzenfarbstoffe rot, Basen hingegen rote Pflanzenfarbstoffe blau färben, kann man an manchen Blumen, z. B. Lungenkraut, Vergifsmeinnicht, Ackergauchheil usw. beobachten. Genannte Pflanzen tragen an eben aufgeblühten Exemplaren rote Blüten, weil der Zellsaft sauer reagiert; später wird der Saft alkalisch oder basisch, und nun nimmt die Blüte eine blaue Farbe an. Auch an dem „Rotkraut“ ist die Farbenänderung zu beobachten, denn die blaue Farbe des rohen Krautes wird erst durch Einwirkung der Essigsäure in die rote Farbe übergeführt.

Von dieser farbenändernden Einwirkung der Säuren macht man Gebrauch, um das Sauerwerden der an sich neutralen Milch nachzuweisen. Auch dann, wenn der Geschmack die in der Milch aus dem Zucker entstandene Milchsäure noch nicht nachzuweisen imstande sein würde, zeigt sich das Vorhandensein dieser Säure dadurch, dafs sie blaues Lackmuspapier rötet. Da die Sauerstoffverbindungen also nicht nur Säuren, sondern auch die den Säuren entgegengesetzten Körper, die Basen, bilden, so ist der Name Sauerstoff oder Oxygenium, d. h. Säureerzeuger, eigentlich um so weniger berechtigt, als es auch Säuren gibt, wie z. B. die Salzsäure (HCl), die gar keinen Sauerstoff enthalten,

4. Hat man zu einer Säure, z. B. der Salpetersäure (NO_3H), etwas Lackmustinktur gesetzt, so wird dieselbe sehr entschieden rot gefärbt; fügt man dann eine Basis, z. B. Ätzkali (KOH), vorsichtig hinzu, so wird die rote Farbe immer mehr sich ändern, bis eine unbestimmte, zwischen Rot und Blau liegende Farbe erhalten wird. Die Flüssigkeit hat gleichzeitig ihren sauren Geschmack verloren; würde man dann die Flüssigkeit verdunsten lassen, so würden die Kristalle des entstandenen Salzes zurückbleiben ($NO_3H + KOH = NO_3K + H_2O$).

Die Eigenschaften der Säure und der Basis haben sich gegenseitig aufgehoben, oder beide haben sich neutralisiert. Zugleich hat sich ein neuer Körper, **ein Salz,** gebildet, nämlich salpetersaures Kali oder Salpeter. Durch gegenseitige Einwirkung von Säuren und Basen entstehen daher Salze. Ein Metall, das in Ätzkali enthaltene Kalium, hat aus der Säure den Wasserstoff verdrängt und ist an seine Stelle getreten. **Ein Salz entsteht, indem ein Metall oder ein metallähnlicher Körper aus einer Säure den Wasserstoff verdrängt und an seine Stelle tritt.**

Hätte man zu der Salpetersäure noch mehr Kalilauge hinzugefügt, so würde dann die neutrale Farbe sofort in ein entschiedenes Blau übergegangen sein, weil

bei Luftabschlufs, so werden dieselben zersetzt; es gehen verschiedene organische Verbindungen, vor allem solche zwischen Kohlenstoff und Wasserstoff, in Dampfform über, und es bleibt im wesentlichen nur Kohlenstoff zurück; auf diese Weise wird Pflanzen- und Knochenkohle erhalten; Holzkohle wird im grofsen in Meilern gebrannt; Stein- und Braunkohlen sind durch Erdrevolutionen begrabene und bei Luftabschlufs langsam zersetzte Pflanzen. Der organische Kohlenstoff (Holz- und Knochenkohle) hat wegen seiner Porosität die Eigenschaft, Gase, Riechstoffe und Farbstoffe zu absorbieren. Mit der Aufnahme von Gasen ist eine Erwärmung verbunden, welche die Entzündung des Kohlenstoffs zur Folge haben kann. Selbstentzündungen von Kohlenvorräten sind darauf zurückzuführen. Auch der Nachweis von Sauerstoff mit Hilfe eines glimmenden Holzspans beruht auf dieser Eigenschaft des Kohlenstoffs.

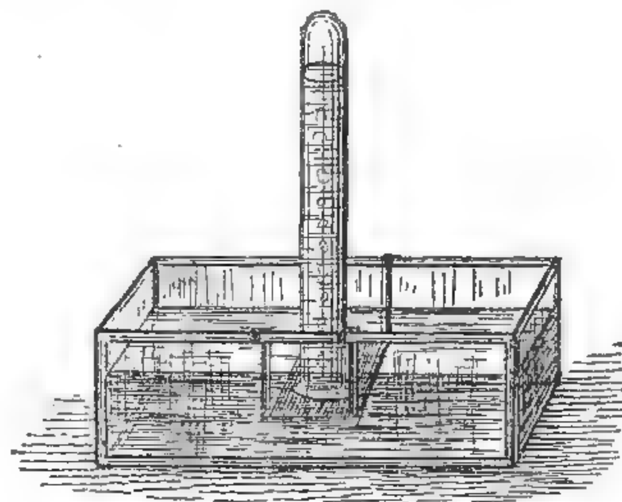
Schüttelt man einen Farbstoffauszug oder Rotwein mit gut ausgeglühtem Kohlenpulver und filtriert dann die Flüssigkeit, so läuft sie farblos ab; in derselben Weise kann man Wasser von übelriechenden Gasen, z. B. von Schwefelwasserstoff, befreien; daher wird der organische Kohlenstoff zum Entfärben des Zuckersirups, zur Reinigung von Wasser und zur Befreiung des Spiritus von Fuselöl gebraucht. Oberflächlich verdorbenes Fleisch kann man von den zersetzten Stoffen befreien, wenn man es einige Stunden in Holzkohlenpulver einpackt, oder wenn man beim Kochen dem Wasser einige Stücke Holzkohle zusetzt. Pfähle, die in die Erde gerammt werden, schützt man vor Fäulnis, indem man die Pfähle an den Spitzen ankohlt. Wird ein Oxyd, z. B. Bleioxyd (PbO), auf Holzkohle geglüht, so entzieht sie dem Oxyd den Sauerstoff; das Oxyd wird auf diese Weise zu Metall reduziert oder vom Sauerstoff befreit (desoxydiert). Deshalb wird im grofsen die Kohle zum Reduzieren der Erze und zur Darstellung der Metalle aus denselben angewandt.

2. Mit Sauerstoff geht der Kohlenstoff zwei Verbindungen ein: das **Kohlendioxyd** oder die **Kohlensäure** (besser Kohlensäureanhydrid CO_2) und das **Kohlenoxyd** (CO). Das Kohlendioxyd findet sich zu 0,02 bis 0,05 % in der atmosphärischen Luft; es strömt in vulkanischen Gegenden aus der Erde, wie in der Hundsgrotte bei Neapel, dem Toten- oder Gifttale auf Java, in den alten Kratern der Eifel und bei Brohl am Rhein; auch findet es sich in vielen Mineralwässern (Sauerbrunnen). Es bildet sich ferner bei der Gärung, bei der Verwesung und Verbrennung organischer Stoffe und kommt vor als kohlensaurer Kalk in der Kreide, dem Marmor, dem Muschelkalk, dem Korallenkalk, dem Kalkspat und anderen Karbonaten (kohlensauren Salzen). Oft tritt der kohlensaure Kalk gebirgsbildend auf. Man stellt Kohlendioxyd dar, indem man Kohle in Sauerstoff verbrennt, oder besser, indem man im Kippschen Apparat kohlensauren Kalk mit Salzsäure übergiefst und durch diese das Kohlendioxyd aus seiner Verbindung befreit ($CaCO_3 + 2\,HCl = CO_2 + CaCl_2 + H_2O$); es entsteht daneben Chlorcalcium, welches sich in Wasser löst. Das Kohlendioxyd ist ein farbloses Gas; es wird bei Null Grad und unter einem Druck von 35 Atmosphären flüssig. Wird flüssige Kohlensäure an die Luft gebracht, so verdunstet ein Teil derselben sehr schnell; dazu wird so viel Wärme verbraucht, dafs in der Umgebung die Temperatur auf -70^0 herabgedrückt wird und der Rest der Kohlensäure zu einer schneeähnlichen, festen Masse erstarrt. Die luftförmige Kohlensäure unterhält das Brennen nicht, so dafs ein brennendes Licht darin verlischt; in gröfserer Menge eingeatmet, ist sie der Gesundheit nachteilig. Sie wiegt mehr als atmosphärische Luft; das kann man dadurch nachweisen, dafs man die in einem Gefäfse enthaltene Kohlensäure in ein anderes Gefäfs hinabfliefsen lassen kann. Wegen des höheren Gewichts bleibt sie dort, wo sie sich in Menge entwickelt, wie in der Hundsgrotte bei Neapel, zum grofsen Teil unten über der Erdoberfläche gelagert. Kohlensäure weist

zwar Flüssigkeit, aber kein fester Körper gelangen kann. Die Kugel *C* ist bei *E* durch einen Glasstopfen verschliefsbar; in die Kugel *B* führt bei *F* ein bei *D* verschliefsbarer Hahn luftdicht hinein. Will man den Apparat in Gebrauch setzen, so nimmt man zunächst den Hahn bei *F* heraus und bringt in die Kugel *B* granulierte Zinkstückchen, die wegen der Verengung zwischen *B* und *C* nicht in die Kugel *C* hinabfallen können; dann wird der Hahn *D* bei *F* wieder hineingebracht und geöffnet. Nunmehr füllt man durch die Kugel *A* den Apparat mit verdünnter Schwefelsäure, bis dieselbe die Zinkstückchen gerade bedeckt. Das sich sofort entwickelnde Wasserstoffgas ($Zn + H_2SO_4 = 2\,H + ZnSO_4$) entweicht durch den geöffneten Hahn *D*. Schliefst man den Hahn *D*, so drückt das entwickelte Gas die verdünnte Schwefelsäure aus der Kugel *B* nach der Kugel *C* und von dieser zum Teil nach der Kugel *A* zurück. Der Apparat ist dann zunächst aufser Tätigkeit gesetzt, beginnt aber sofort wieder zu arbeiten, wenn der Hahn *D* wieder geöffnet wird; denn da das Gas bei *D* entweicht, fliefst die Säure wieder nach *B* zurück und wirkt von neuem auf das Metall ein. Durch den Glasstopfen bei *E* läfst sich nach dem Gebrauch die Flüssigkeit entfernen.

Wasserstoff kann man auch herstellen, wenn man etwas metallisches Natrium oder Kalium, das vorher von allen Unreinigkeiten befreit sein mufs, mit Hilfe eines siebartigen Löffelchen in der pneumatischen Wanne unter einen mit Wasser gefüllten Zylinder bringt; die Stücke dürfen aber nicht gröfser als eine Erbse sein, da sonst wegen der heftigen Reaktion leicht eine Explosion erfolgen kann; der sich entwickelnde Wasserstoff drückt alsdann das Wasser allmählich aus dem Zylinder heraus, bis letzterer ganz mit Wasserstoff gefüllt ist (Fig. 395). Das Natrium hat wegen seiner grofsen chemischen Verwandtschaft zum Sauerstoff diesen letzteren dem Wasser entzogen, so dafs dabei Wasserstoff frei geworden ist ($Na + H_2O = NaOH + H$).

Fig. 395.



Schickt man durch angesäuertes Wasser einen elektrischen Strom, so erhält man ebenfalls Wasserstoff und Sauerstoff. Der Wasserstoff entwickelt sich am negativen Pole (Kathode), der Sauerstoff am positiven (Anode). Gleichzeitig sieht man, dafs dem Volumen nach sich doppelt so viel Wasserstoff als Sauerstoff entwickelt, entsprechend der chemischen Formel für Wasser: H_2O. (§ 34.)

3. Der Wasserstoff ist ein farbloses und durchsichtiges, geschmackloses und geruchloses G a s; er ist unter allen Gasen am schwersten flüssig zu machen und erfordert dazu eine Abkühlung bis auf —252 ° Celsius. Nähert man einer sehr engen Öffnung, aus der Wasserstoff strömt, eine Flamme, so e n t z ü n d e t sich der Wasserstoff. **Der Wasserstoff brennt mit wenig leuchtender, blauer Flamme.** Wenn man ferner oben in der Fortleitungsröhre einer Gasentwicklungsflasche einen Strohhalm befestigt, darauf einen Tropfen Seifenwasser bringt und Wasserstoff entwickelt, so bilden sich mit Wasserstoff gefüllte Seifenblasen und steigen wegen ihrer Leichtigkeit empor. **Das Gewicht des Wasserstoffs beträgt ungefähr den 14. Teil von dem Gewicht eines ebenso grofsen Volumens atmosphärischer Luft.** 1 l Wasserstoff wiegt 0,0896 g. Wegen des geringen spezifischen G e w i c h t s benutzte man früher das Wasserstoffgas zum Füllen von Luftballons; doch nimmt man heute meist das zwar etwas schwerere, aber viel billigere Leuchtgas.

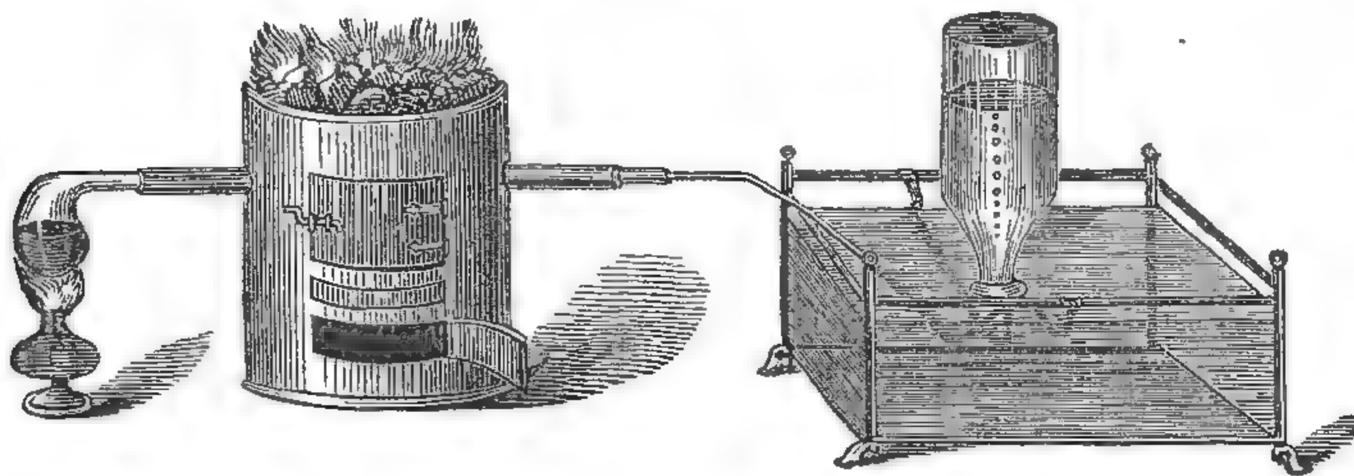
4. **Das Wasser** ist die wichtigste aller Wasserstoffverbindungen, ja überhaupt einer der wichtigsten Körper. Es kommt als fester Körper (oder Eis), als tropfbar flüssiger und als luftförmiger (oder Wasserdampf) vor. 0 ° hat es, wenn es fest wird, und 100 ° Celsius hat es am Meeresspiegel, wenn es kocht; doch wird es

nunmehr die Basis im Überschufs vorhanden gewesen sein würde. Übrigens sei noch erwähnt, dafs nicht alle Salzlösungen neutral reagieren, also weder blaues noch rotes Lackmuspapier in ihrer Farbe zu ändern vermögen. Eine Sodalösung färbt z. B. rotes Lackmuspapier blau, weil in der Soda (kohlensaures Natron $= Na_2CO_3$) eine schwache Säure (CO_2) mit einer starken Basis ($NaOH$) verbunden ist, so dafs der Einflufs der stärkeren Basis überwiegt.

§ 205. Der Wasserstoff.

1. Wasser ist eine Verbindung von Sauerstoff und Wasserstoff; man erhält daher Wasserstoff, wenn man dem Wasser seinen Sauerstoff entzieht. Lavoisier zu Paris befestigte an einer mit Wasser gefüllten Retorte einen Flintenlauf und erhitzte denselben durch das Feuer eines kleinen Ofens bis zum Rotglühen; das Wasser in der Retorte ward durch eine Spirituslampe erwärmt, die Wasserdämpfe strömten durch den glühenden Flintenlauf und gaben an denselben ihren Sauerstoff ab. Der ausströmende Wasserstoff wog mit der Gewichtszunahme des Eisens zusammen so viel, als der Verlust an Wasser in der Retorte betrug (Fig. 392).

Fig. 392.



2. Am gebräuchlichsten ist die Darstellung von Wasserstoff durch Übergiefsen von Zink mit verdünnter Schwefelsäure. Die verdünnte Schwefelsäure stellt man sich her, indem man unter stetigem Umrühren mit einem Glasstabe zu Wasser konzentrierte Schwefelsäure giefst. Das Wasser erwärmt sich dabei stark. Man darf nicht das Wasser in die Schwefelsäure giefsen, weil dann eine zu heftige Reaktion stattfindet. Man bedient sich zur Wasserstoffentwicklung entweder einer einfachen Gasentwicklungsflasche (Fig. 393) oder besser des Kippschen Wasserstoffentwicklungsapparates (Fig. 394). Derselbe besteht aus zwei durch eine Verengung miteinander verbundenen Kugeln B und C, in welche ein dritter kugelförmiger Teil A mit seiner trichterförmigen Fortsetzung, die bis auf den Boden von C langt, luftdicht eingesetzt werden kann; die Röhre von A geht so durch die Verengung zwischen B und C hindurch, dafs von B nach C

Fig. 393.

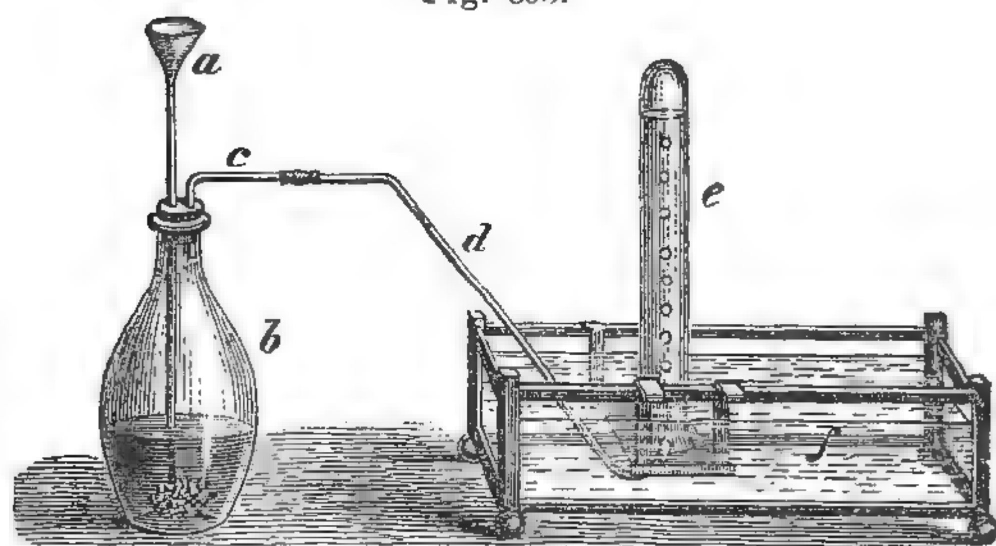
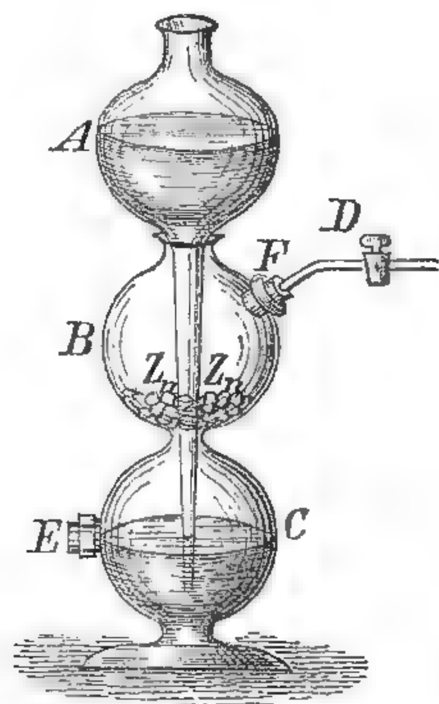


Fig. 394.



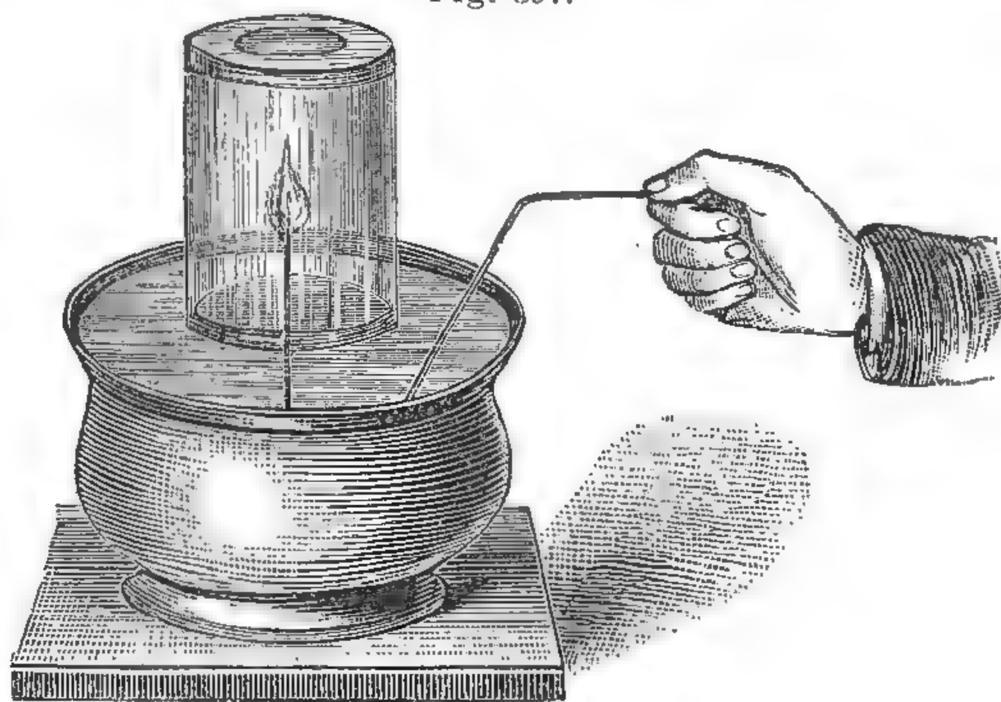
§ 206. Der Stickstoff.

1. Der Stickstoff hat seinen deutschen Namen Stickstoff deswegen erhalten, weil in ihm ein lebendes Wesen ersticken und ein Licht verlöschen müſste. Das Ersticken sowie das Erlöschen geschieht aber nicht wegen der Anwesenheit von Stickstoff, sondern wegen des Mangels an Sauerstoff. Auch in anderen Gasen, wie in Wasserstoff, Kohlensäure usw., tritt das Ersticken und das Verlöschen ein. Der Name ist also ebensowenig glücklich gewählt wie der des Sauerstoffs. Der lateinische Name ist Nitrogenium, d. h. Salpetererzeuger, weil er das in der Salpetersäure enthaltene Metalloid ist.

Der Stickstoff ist ein farbloses Gas, welches sich in der atmosphärischen Luft gemengt mit Sauerstoff, Kohlendioxyd (Kohlensäure) und Wasserdampf findet; auſserdem ist er ein Bestandteil des Salpeters und vieler organischer Stoffe, namentlich tierischer; doch findet er sich auch in Pflanzen und in den Kohlen, die ja pflanzlichen Ursprungs sind. Im Tierkörper bildet er einen Bestandteil des Eiweiſses. Trotzdem er sehr reichlich in der Luft vorhanden ist, kann er von den Tieren doch nicht direkt der Luft entzogen werden. Die von der Lunge ausgeatmete Luft enthält vielmehr fast genau so viel Stickstoff wie die eingeatmete. Der Stickstoff ist überhaupt ein Element, welcher im Gegensatz zu dem Sauerstoff nicht gern Verbindungen eingeht, und viele seiner Verbindungen werden leicht wieder zersetzt. Wegen dieser Eigenschaft hat man ihn auch als ein Edelgas bezeichnet.

2. Stickstoff läſst sich in reinem Zustande aus seinen chemischen Verbindungen, z. B. aus Ammoniak (NH_3), darstellen. Man füllt eine 2 cm weite, lange Glasröhre, die an einem Ende verschlossen ist, mit Chlorwasser (Wasser, welches Chlor absorbiert hat), verschlieſst die Röhre mit dem Daumen, kehrt sie um und stellt sie in eine Schüssel, in welcher sich Salmiakgeist (Wasser, welches Ammoniak absorbiert enthält) befindet. Das Ammoniak vermischt sich mit dem Chlorwasser, der Wasserstoff des Ammoniaks verbindet sich mit dem Chlor zu Chlorwasserstoff oder Salzsäure, und der Stickstoff wird frei ($2\,NH_3 + 6\,Cl = 2\,N + 6\,HCl$).

Fig. 397.



Aus der atmosphärischen Luft läſst sich der Stickstoff gewinnen, indem man derselben den Sauerstoff entzieht. Bringt man über eine Schüssel mit Wasser (Fig. 397) Phosphor oder in Spiritus getauchte Watte, zündet man diese an, und stellt man eine Glasglocke mit atmosphärischer Luft darüber, so beginnt das Wasser unten in der Glocke emporzusteigen; es verschwindet in derselben ein Teil der Luft, der Sauerstoff; die Flamme wird schwächer und erlischt, wenn der fünfte Teil der anfangs in der Glocke befindlichen Luft verzehrt worden ist. Der Sauerstoff macht etwa den fünften Teil, Stickstoff nahezu $^4/_5$ der atmosphärischen Luft aus. **Die atmosphärische Luft ist also im wesentlichen ein Gemenge von $^1/_5$ Sauerstoff und $^4/_5$ Stickstoff.** Auſserdem enthält die Luft stets Wasserdampf, Kohlendioxyd, Spuren von Salpetersäure, Ammoniak, Ozon, mitunter auch von Wasserstoffsuperoxyd und, besonders in der Umgebung von menschlichen Wohnstätten, noch zusammengesetztere organische Verbindungen. In den letzten

auch bei jedem anderen Wärmegrad an der Oberfläche luftförmig, indem es verdunstet. Bei 4° über Null hat es seine gröfste Dichte; wird es kälter oder wärmer als 4°, so dehnt es sich aus und wird spezifisch leichter (§ 170). Das Gewicht eines Kubikzentimeters destillierten Wassers von 4° Celsius bildet die Gewichtseinheit: 1 g.

Wasser löst viele Stoffe, namentlich Salze, auf, und zwar im allgemeinen um so mehr, je höher die Temperatur ist; löst Wasser von einer bestimmten Temperatur nichts mehr von dem betreffenden Salze auf, so nennt man die Lösung gesättigt; beim Abkühlen der gesättigten Lösung scheidet sich dann das betreffende Salz in Kristallform wieder aus. Man erhält möglichst grofse Kristalle, wenn die Abkühlung und Verdunstung des Wassers möglichst langsam vor sich geht.

Die Kristalle enthalten vielfach aufser dem betreffenden Salze noch Wasser, sogenanntes Kristallwasser; so enthält z B. ein Molekül Kupfervitriol neben schwefelsaurem Kupfer fünf Moleküle Kristallwasser. Erhitzt man solche Kristalle, so verlieren sie das Kristallwasser und mit ihm gleichzeitig die Kristallgestalt. Sind die Kristalle gefärbt, so geht die Farbe nach dem Wasserverlust verloren, wie beim Kupfervitriol, oder sie ändert sich, wie beim Chlorkobalt. Letzteres sieht mit dem Kristallwasser rot, ohne Kristallwasser blau aus. Schreibt man daher mit einer Chlorkobaltlösung auf weifses oder rotes Papier, so sieht man nichts von den Schriftzügen, weil die Farbe ganz mattrot ist; erwärmt man aber das Papier, so wird das Kristallwasser ausgetrieben, und es erscheinen blaue Schriftzüge (sympathetische Tinte). Auf derselben Veränderung beruhen die Wetterbilder, bei welchen ein in feuchter Luft rosafarbener Stoff in trockener Luft blau erscheint.

Chemisch-reines Wasser kommt in der Natur nicht vor; ziemlich rein ist Regen- und Schneewasser; chemisch-reines Wasser erhält man durch Destillation von Flufs- oder Quellwasser. Man verwandelt durch Kochen das Wasser in Wasserdampf und leitet diesen durch Röhren, in denen er durch kaltes Wasser abgekühlt (Fig. 396) und zu destilliertem Wasser verdichtet wird. — Unser Brunnenwasser enthält stets Sauerstoff, Stickstoff und Kohlensäure absorbiert, aufserdem Salze verschiedener Art namentlich kohlensauren und schwefelsauren Kalk gelöst, wenn es durch entsprechende Gesteinsschichten geflossen ist. Wasser, welches reich an solchen Salzen ist, heifst hartes Wasser; es eignet sich nicht so gut zum Kochen von Speisen, da manche Speisen in ihm nicht so leicht gar werden; durch Zusatz von einer kleinen Menge von doppeltkohlensaurem Natron wird das Wasser zum Kochen geeigneter. Auch zum Waschen ist das harte Wasser nicht so gut zu gebrauchen, da die Seife sich mit den Kalksalzen zunächst zu einem Gerinnsel verbindet und erst nach Bildung desselben ihre Wirkung äufsern kann. Solchem harten Wasser setzt man Soda zu, um es weich zu machen.

Fig. 396.



Neben dem Wasser kommt noch eine andere Wasserstoff-Sauerstoffverbindung, das Wasserstoffsuperoxyd, vor; gewöhnlich findet es sich im Regen und im Schnee, zuweilen auch in der Luft. Künstlich wird es aus Baryumsuperoxyd und verdünnter Schwefelsäure hergestellt. Da es sehr unbeständig ist und leicht ein Atom Sauerstoff abgibt, das energischer wirkt als der gewöhnlich in Molekülen vorkommende Sauerstoff, so findet es Verwendung zur Desinfektion, zur Wundbehandlung, zum Bleichen von Haaren, Elfenbein, Seide, Stroh und zur Auffrischung alter Ölgemälde, deren bleihaltige Farben sich durch den Schwefelwasserstoff der Luft unter Bildung von Schwefelblei geschwärzt haben.

Wolle und Seide nicht angreift, so wird es als Fleckwasser benutzt. Mit Ammoniak weist man leicht Salzsäure (HCl) nach oder umgekehrt; hält man nämlich einen mit Ammoniak benetzten Glasstab in Salzsäuredämpfe, so verbinden sich beide Körper sofort zu einem weifsen Nebel, der aus Salmiak besteht. $NH_3 + HCl = NH_4Cl$.) Im grofsen wird Salmiak und schwefelsaures Ammon in Gasanstalten hergestellt, indem man das Ammoniakwasser in verdünnte Salzsäure bezw. Schwefelsäure einleitet. Schwefelsaures Ammon $(NH_4)_2 SO_4$ wird besonders als Düngemittel viel verwendet.

Von anderen Stickstoff-Sauerstoffverbindungen sei nur noch das Stickstoffoxydul (N_2O), Lach- oder Lustgas, erwähnt, das durch Zersetzen von salpetersaurem Ammon entsteht ($NH_4NO_3 = N_2O + 2 H_2O$) und bei Zahnoperationen als Anästhetikum unter dem Namen Nitrooxygengas Verwendung findet.

§ 207. Das Chlor.

1. Die am meisten in der Natur verbreitete Verbindung des Chlors ($Cl = 35,5$) ist das Chlornatrium oder Kochsalz ($NaCl$). Man erhält Chlor entweder durch Erhitzen von Kochsalz, Braunstein und Schwefelsäure oder von Braunstein mit Salzsäure. Das sich entwickelnde Gas leitet man, nachdem man es mit Chlorcalcium getrocknet hat, auf den Boden einer Flasche oder eines Standzylinders, der während des Einleitens oben mit einem Wattebausch und nach dem Füllen mit einer Glasplatte verschlossen wird. Braunstein (MnO_2) ist eine Verbindung von Mangan mit Sauerstoff; bei der Erwärmung verbindet sich der Wasserstoff der **Salzsäure** (HCl) mit dem Sauerstoff des Braunsteins zu Wasser, das Chlor der Salzsäure verbindet sich zum Teil mit Mangan; zum Teil wird das Chlor frei und senkt sich wegen seines gröfseren spezifischen Gewichts in die zu füllende Flasche hinab. Chlor ist ein grüngelbes, giftiges Gas, welches eingeatmet Entzündung der Schleimhäute hervorruft; durch Abkühlen bis auf -40^0 oder bei gewöhnlicher Luftwärme durch einen Druck von 4 Atmosphären läfst es sich in eine grüngelbe Flüssigkeit verwandeln; in atmosphärischer Luft entzündet es sich nicht, doch hat es eine grofse chemische Verwandtschaft zu einer ganzen Reihe von Elementen, besonders zu den Metallen, mit denen es sich teils unter Feuererscheinung verbindet, so mit unechtem Blattgold (aus Zink und Kupfer bestehend) und mit Stanniol, doch auch mit Nichtmetallen, z. B. mit gepulvertem Antimon oder Arsen und mit Phosphor, der sich im Chlor ebenfalls von selbst entzündet und mit grünlicher Flamme verbrennt.

2. Ganz besonders grofs ist aber die chemische Verwandtschaft des Chlors zum Wasserstoff. Mischt man Chlor und Wasserstoff in gleichen Volumverhältnissen, so erhält man das Chlorknallgas, welches, an eine Flamme gebracht oder dem direkten Sonnenlichte ausgesetzt, explodiert, wobei sich beide Elemente zu Chlorwasserstoff oder Salzsäure vereinigen ($H + Cl = HCl$). Chlorwasser (d. h. Wasser, welches Chlor absorbiert enthält) wird ebenfalls unter dem Einflufs des Sonnenlichts zersetzt. Das Chlor verbindet sich auch hier mit dem Wasserstoff des Wassers, und Sauerstoff wird frei. Eine Kerze brennt im Chlorgas mit stark rufsender Flamme, da auch hier wieder das Chlor den glühenden Kohlenwasserstoffen der Flamme den Wasserstoff entzieht und so viel unverbrannter Kohlenstoff (Rufs) zurückbleibt.

Ein nasses, mit Pflanzenfarbstoff gefärbtes Stück Zeug wird vom Chlor bald farblos. Darauf beruht die Anwendung des Chlors zum Bleichen von Baumwolle und Leinwand; bei der **Chlorbleiche** werden diese Stoffe in eine Lösung von Chlorkalk getaucht, die man erhält, indem man Chlor in Kalkmilch leitet; setzt man die Stoffe zu lange der Einwirkung des Chlors aus, so werden nicht blofs die Farbstoffe, sondern auch die Pflanzenfasern zerstört.

Jahren hat man in der Luft noch andere Elemente nachgewiesen, von welchen das Argon am reichsten, die anderen (Krypton, Neon, Metargon, Helium, Koronium, Xenon) dagegen nur in Spuren vorkommen. Genauere Untersuchungen haben ergeben, dafs in der Luft durchschnittlich 77,18 Volumprozent Stickstoff, 20,62 Sauerstoff, 0,89 Argon, 0,03 Kohlendioxyd und 1,28 Wasserdampf enthalten sind.

3. Die wichtigste Verbindung des Stickstoffs mit Sauerstoff ist, wie schon oben erwähnt, **Salpetersäureanhydrid** (N_2O_5), welches mit Wasser (H_2O) **Salpetersäure** (NO_3H) bildet. Dieselbe kann aus Kalisalpeter (eigentlicher Salpeter) oder aus Natronsalpeter (Chilisalpeter) hergestellt werden. Der Kalisalpeter wird aus Vorderindien nach Europa eingeführt; da der natürlich vorkommende aber den Bedarf nicht deckt, so stellt man letzteren künstlich aus Natronsalpeter (Chilisalpeter) und Chlorkalium her. Aus beiden Arten des Salpeters kann man Salpetersäure gewinnen. Erhitzt man Natronsalpeter und Schwefelsäure in gläsernen Retorten oder gufseisernen Zylindern, so verdrängt die Schwefelsäure die Salpetersäure aus ihrer Verbindung; aus Schwefelsäure und salpetersaurem Natron entsteht saures schwefelsaures Natron und Salpetersäure in Dampfform, die durch Abkühlen mit kaltem Wasser zu tropfbarflüssiger Salpetersäure verdichtet wird. ($NaNO_3 + H_2SO_4 = HNO_3 + NaHSO_4$). Reine Salpetersäure ist eine farblose, rauchende Flüssigkeit, welche sich, dem Lichte ausgesetzt, gelb färbt, weil sich dann die Salpetersäure langsam zersetzt; sie färbt Haut, Wolle und Seide gelb und ist eine sehr ätzende Flüssigkeit, die an oxydierbare Stoffe leicht Sauerstoff abgibt; dieser Eigenschaft wegen wird sie z. B. benutzt, um die durch Verbrennen von Schwefel entstehende schweflige Säure (H_2SO_3) in Schwefelsäure (H_2SO_4) überzuführen. Verdünnte Salpetersäure heifst Scheidewasser, weil sie Kupfer und Silber, nicht aber Gold auflöst, so dafs man das Gold ausscheiden kann. Wird Baumwolle mit Salpetersäure behandelt, so entsteht unter verschiedenen Umständen Kollodiumwolle und Schiefsbaumwolle; die Auflösung der Kollodiumwolle in Alkohol und Äther heifst Kollodium; letzteres dient zur Herstellung photographischer Platten und zur Fabrikation der künstlichen Seide (Artisella). Mit Kampfer zusammengeprefst, bildet die Kollodiumwolle das leicht entzündliche Zelluloid, aus dem man Schmucksachen und verschiedene Gebrauchsgegenstände arbeitet. Eine sehr ausgedehnte Verwendung findet die Schiefsbaumwolle in ihrer Verarbeitung zu Blättchenpulver oder rauchlosem Schiefspulver. — Setzt man zu gleichen Raumteilen Schwefelsäure und Salpetersäure kleine Mengen Glyzerin, das ein Bestandteil der Fette ist, so scheidet sich ein ölartiger Körper aus, das Glyzerinnitrat oder Nitroglyzerin, das bei Erwärmung oder Stofs explodiert und als Sprengöl zum Sprengen von Felsen gebraucht wird. Die direkte Verwendung desselben ist aber sehr gefährlich, daher hat der Schwede Nobel 1867 aus einer Mischung von drei Teilen Glyzerinnitrat und einem Teil Kieselgur das weniger gefährliche Dynamit hergestellt. Seit Verwendung des Dynamits im Bergbau werden etwa 30 % der Betriebskosten gespart; dies bedeutete z. B. für den Erzbergbau in Preufsen im Jahre 1894 eine Ersparnis von 27 Millionen Mark.

4. Die Verbindung des Stickstoffes mit Wasserstoff heifst **Ammoniak**. Es entsteht beim Verwesen stickstoffhaltiger, besonders tierischer Körper. Da sich aber auch im Pflanzeneiweifs stickstoffhaltige Verbindungen finden, so entsteht auch Ammoniak bei der Gewinnung des Leuchtgases durch Destillation von Steinkohlen. Man kann Ammoniak herstellen, indem man Salmiak (Chlorammonium, NH_4Cl) mit gepulvertem, gebranntem Kalk mäfsig erhitzt. Ammoniak ist ein farbloses, stark riechendes Gas. Es wird von Wasser begierig aufgenommen und bildet mit ihm Salmiakgeist. Da Ammoniak die Fähigkeit besitzt, Fette aufzulösen, und

ruhigungsmittel in der Medizin (Bromkalium) und zur Bereitung von Trockenplatten in der Photographie (Bromsilber).

Das Jod kommt in Verbindungen vor in vielen Mineralquellen, im Seetang und vielen anderen Meerespflanzen; es ist ein fester, metallisch glänzender, ähnlich wie Graphit aussehender Körper. Beim Erhitzen bildet es einen tiefblauen Dampf, welcher in verdünntem Zustande violett gefärbt erscheint; beim Erkalten verdichtet es sich zu glänzenden Kristallen. Eine Anzahl von Jodverbindungen, so die Jodtinktur (Lösung von Jod in Alkohol) und Jodoform (CHJ_3) werden äufserlich in der Medizin verwendet. Innerlich wendet man Jodverbindungen an gegen Skrofulose; demselben Zwecke dient auch der jodhaltige Lebertran, welcher aus der Leber des Kabeljaus hergestellt wird. Das Jodsilber wird ähnlich wie das Brom- und das Chlorsilber in der Photographie verwendet. Schon beim Ozon (S. 246) ist die Blaufärbung des Stärkemehls durch Jod erwärmt worden

Das Fluor (Fl) kommt in vielen Mineralien vor, von welchem Flufsspat ($CaFl_2$) das wichtigste ist. Das Fluor, ein gelblichgrünes Gas, rein darzustellen, gelang erst im Jahre 1886. Es hat zu den meisten Elementen eine noch gröfsere chemische Verwandtschaft als das Chlor. Von seinen Verbindungen findet das Fluorcalcium (der Flufsspat) als Flufsmittel beim Schmelzen der Metalle und zur Herstellung der Emaille des Porzellans Verwendung, während der aus dem Flufsspat mit Hilfe von Schwefelsäure hergestellte Fluorwasserstoff zum Einätzen von Schriftzeichen und dergl. in Glas und im Gärungsgewerbe angewendet wird, da derselbe die Bazillen, welche die Milch- und Buttersäuregärung veranlassen, nicht aber die Hefe tötet.

§ 208. Der Kohlenstoff.

1. Der Kohlenstoff (C = Carbonium = 12) ist ein festes Element, das sich in der Natur selten ganz rein vorfindet. Er kommt in drei verschiedenen Modifikationen, nämlich als **Diamant, Graphit** und **organischer Kohlenstoff,** vor. Der Diamant ist in reinem Zustande farblos, häufig aber mehr oder weniger gefärbt; wegen seines starken Lichtbrechungsvermögen dient er als Schmuck, und weil er der härteste Naturkörper ist, zum Schneiden des Glases und zum Schreiben auf Glas. (Sehr hart ist auch der Karborund oder Kieselkohlenstoff, welcher durch Einwirkung des elektrischen Flammenbogens aus einem Gemenge von Kohle und Quarzsand gewonnen und als Schleifmittel für Glas, sehr harte Gesteine und Metalle gebraucht wird. Noch gröfsere Härte besitzt der aus den Elementen Bor und Kohlenstoff hergestellte Borkohlenstoff, der sich zum Schleifen von Diamanten verwenden läfst.) Obwohl der Diamant äufserlich keine Ähnlichkeit mit der Kohle hat, so liefert er doch, wie diese, beim Verbrennen Kohlendioxyd (CO_2). Künstliche Diamanten (Moïssan) hat man bisher nur in sehr geringer Gröfse (bis $^1/_2$ mm Durchmesser) herzustellen vermocht, so dafs dieselben praktisch nicht verwertet werden können. Der Graphit oder das Reifsblei ist das blauschwarze Mineral, aus dem die Bleistifte angefertigt werden; von den beiden anderen Modifikationen des Kohlenstoffes unterscheidet er sich durch seine gute Leitfähigkeit für Elektrizität; deshalb wird er auch zum Leitendmachen in der Galvanoplastik gebraucht; auferdem wird er zum Anstreichen eiserner Öfen, zu Maschinenschmiere und zu Schmelztiegeln verwandt.

Der **organische** oder **amorphe Kohlenstoff** unterscheidet sich von den beiden anderen Formen des Kohlenstoffs dadurch, dafs er nicht kristallisiert, sondern amorph (ohne [Kristall-]Gestalt) ist. Alle Pflanzen- und Tierkörper bestehen im wesentlichen aus Kohlenstoff (C), Wasserstoff (H), Sauerstoff (O) und besonders die tierischen, aufserdem aus Stickstoff (N). Diese vier Elemente bezeichnet man deshalb als Organogene (Organbildner). Erhitzt man organische Stoffe

Die verschiedenen Fleck- und Bleichwasser enthalten Chlor; so besteht das Eau de Labarraque, welches zum Entfernen von Flecken aus Tischzeug dient, aus mit Chlor gesättigter Natronlauge. Wegen der Heftigkeit der Wirkung darf Chlor nur zum Bleichen von Stoffen pflanzlichen Ursprungs, wie Leinen, Baumwolle, Papier, Jute und dergl., verwendet werden. Seidene und wollene Stoffe werden dagegen mit schwefliger Säure gebleicht.

Ebenso wie Chlor die Farbstoffe zerstört, zersetzt es auch ansteckende Krankheitsstoffe und dient daher als Desinfektionsmittel; bei der **Chlorräucherung** wird etwas Chlorkalk in eine Schüssel getan und mit wenigen Tropfen Schwefelsäure oder auch mit starkem Essig befeuchtet, worauf sich Chlor entwickelt.

3. Wenn man in einer Glasretorte Kochsalz unter Zusatz von Schwefelsäure mäfsig erwärmt, so wird das Chlornatrium durch die Säure zersetzt; das Chlor verbindet sich mit dem Wasserstoff der Säure, und es bildet sich Chlorwasserstoff und schwefelsaures Natron oder Glaubersalz ($2\,NaCl + H_2SO_4 = 2\,HCl + Na_2SO_4$). Wasser, in welches man das Chlorwasserstoffgas leitet, nimmt dasselbe begierig auf und bildet mit ihm die flüssige **Salzsäure** oder Chlorwasserstoffsäure. Salzsäure findet in der Haushaltung Verwendung zum Entfernen von Kesselstein (sogenannter Salpeter) aus den Kochtöpfen, zum Entfernen des Kalkes aus Badeschwämmen. In beiden Fällen wird der kohlensaure Kalk durch die Salzsäure in Chlorcalcium und Kohlendioxyd zerlegt ($CaCO_3 + 2\,HCl = CaCl_2 + CO_2 + H_2O$). Auch zum Putzen von Metallen, besonders von Messing und Kupfer, kann man Salzsäure verwenden. Die Wirkung beruht hier darauf, dafs die aus Metalloxyden oder Metallsalzen bestehenden Verunreinigungen von der Salzsäure gelöst werden. Reibt man dann mit Asche oder Kreide nach, so wird ein etwaiger Überschufs von Säure durch diese basisch wirkenden Stoffe neutralisiert. Eine Mischung von etwa drei Raumteilen Salzsäure und einem Teil Salpetersäure heifst Königswasser und dient zur Auflösung von Gold und Platin. Seine Wirkung beruht darauf, dafs die Salpetersäure leicht Sauerstoff abgibt; dieser Sauerstoff verbindet sich mit dem Wasserstoff der Salzsäure zu Wasser, und so wird Chlor frei. Dieses Chlor wirkt aber im Zustande des Entstehens (in statu nascendi) energischer auf Gold und Platin ein als im gewöhnlichen Zustande, da es hier in Atomen auftritt und so mit Gold sich zu Goldchlorid verbinden kann, während sich das Chlor im Molekularzustand mit Gold oder Platin nicht zu verbinden vermag.

4. Leitet man Chlor in Äthylalkohol (Weingeist), so bildet sich eine farblose Flüssigkeit, die man Chloral (C_2Cl_3OH) nennt; dasselbe verbindet sich mit Wasser zu Chloralhydrat, einem festen Körper, der schmerzstillend wirkt und ruhigen Schlaf erzeugt, wahrscheinlich deshalb, weil es durch das Blut in Chloroform ($CHCl_3$) übergeführt wird. Letzteres ist eine wasserhelle, angenehm süfslich riechende Flüssigkeit, deren eingeatmete Dämpfe einen Zustand der Bewufstlosigkeit hervorrufen und deshalb bei chirurgischen Operationen zur Anwendung kommen.

Dem Chlor in seinen Wirkungen verwandt sind die Elemente Brom (Br), Jod (J) und Fluor (Fl). Diese vier Elemente zeichnen sich vor allen anderen Elementen dadurch aus, dafs sie direkt mit Metallen Salze bilden, z. B. Kochsalz (NaCl), Bromkalium (KBr), Jodsilber (AgJ) und Fluorcalcium (Fl_2Ca), weshalb man sie Halogene: Salzbildner, nennt; auch ist ihnen gemeinschaftlich, dafs ihre Wasserstoffverbindungen Säuren (und zwar ohne Sauerstoff) darstellen.

Das Brom ist bei gewöhnlicher Temperatur eine dunkelrotbraune Flüssigkeit, die dem Chlor ähnlich riecht und die Augen und Schleimhäute angreift; es ist das einzige bei gewöhnlicher Temperatur flüssige Nichtmetall. Es findet sich in Verbindungen im Meerwasser und vielen Salzquellen. Verwendet wird Brom als Be-

man durch Kalkwasser nach; dasselbe wird durch die Kohlensäure getrübt, weil sich in reinem Wasser unlöslicher kohlensaurer Kalk bildet ($CO_2 + CaO = CaCO_3$); leitet man aber in solch stark getrübtes Wasser mehr und mehr Kohlendioxyd, so klärt sich dasselbe wieder, weil sich nun doppeltkohlensaurer Kalk gebildet hat, der in Wasser löslich ist ($CaCO_3 + CO_2 + H_2O = Ca[HCO_3]_2$).

Wenn sich in den Kochtöpfen oder Dampfkesseln kohlensaurer Kalk (kein Salpeter) absetzt, so liegt dies daran, dafs das Regenwasser Kohlensäure aufnimmt, wenn es die an Kohlensäure reiche Humusschicht durchdringt, und dafs nunmehr das kohlensäurehaltige Wasser imstande ist, den kohlensauren Kalk, durch den es hindurchfliefst, aufzulösen. Auf diese Weise sind in Kalkgebirgen im Laufe grofser Zeiträume grofse Höhlen mit den säulenartigen Stalagmiten und Stalaktiten entstanden. Weil Kohlensäure, in den Magen gebracht, heilsam wirkt, so wird als Ersatz für das natürliche kohlensaure Wasser künstliches dargestellt. Im kleinen stellt man kohlensäurehaltiges Wasser dadurch her, dafs man zu einer Lösung von doppeltkohlensaurem Natron (Bullrichs Salz) Weinsteinsäure hinzufügt; letztere verbindet sich mit dem Natron und setzt die Kohlensäure in Freiheit (Brausepulver). Hört bei den mit Kohlensäure gesättigten Flüssigkeiten der Druck auf, so entweicht das Gas mit Heftigkeit und bewirkt das Moussieren oder Aufschäumen der Flüssigkeit.

Die zweite Verbindung des Kohlenstoffs mit dem Sauerstoff, das **Kohlenoxydgas** (CO), entsteht, wenn Kohle bei nicht ausreichendem Luftzutritt verbrennt, oder wenn Kohlendioxyd mit glühenden Kohlen in Berührung kommt, die ihm den Sauerstoff entziehen. Das Kohlenoxyd ist ein farb- und geruchloses Gas, das vom Wasser fast nicht absorbiert wird; es ist leichter als die atmosphärische Luft, brennt mit blauer Flamme und wirkt, wenn es eingeatmet wird, giftig. Schon 0,1 % Kohlenoxyd ruft Vergiftungserscheinungen hervor. Kohlenoxyd ist es, welches neben Kohlensäure in das Zimmer dringt, wenn etwa vorhandene Ofenklappen früher geschlossen werden, als das Feuer im Ofen ausgegangen ist. Plätterinnen, die sich der Kohlenplätten bedienen, sowie Feuerarbeiter sind der Gefahr, sich durch Kohlenoxyd zu vergiften, ausgesetzt.

Von Bedeutung ist das Kohlenoxydgas als ein Bestandteil des Wassergases. Letzteres entsteht durch Einwirkung des Wassers auf weifsglühende Kohlen nach der Formel $C + H_2O = CO + 2\,H$, besteht also aufser aus Kohlenoxyd noch aus Wasserstoff und wird als Brenngas und, wenn man es durch Benzol geleitet (karburiert) hat, auch als Leuchtgas verwendet. Namentlich in Amerika ist es in vielen Städten eingeführt; in New York wird doppelt so viel Wassergas als Steinkohlengas verbraucht. Wegen der viel geringeren Herstellungskosten verdient es dem Leuchtgas vorgezogen zu werden.

3. Das **Cyan** (Kohlenstickstoff, CN) ist eine Verbindung von Kohlenstoff mit Stickstoff und wird durch Erhitzen von Cyanquecksilber in ähnlicher Weise dargestellt wie Sauerstoff durch Erhitzen von Quecksilberoxyd. Durch direkte Einwirkung von Kohlenstoff und Stickstoff aufeinander läfst sich Cyan nicht herstellen. Cyan ist ein sogenanntes zusammengesetztes Radikal. Darunter versteht man eine Gruppe von Elementen, also hier von Kohlenstoff und Stickstoff, deren Wertigkeiten einander nicht gleich sind, und welche in dieser Gruppierung wieder ganz die Rolle von Elementen spielen. Der vierwertige Kohlenstoff und der dreiwertige Stickstoff liefern das einwertige Radikal Cyan ($CN = Cy$), welches ähnlich wie die Halogene eine ganze Anzahl von Verbindungen eingeht. Cyan ist ein farbloses Gas von stechendem Geruch; es verbrennt mit roter Flamme zu Kohlensäure und Stickstoff ($CN + 2\,O = CO_2 + N$). Eine Verbindung von Cyan mit Wasserstoff ist die überaus giftige Cyanwasserstoffsäure oder Blausäure (HCN), eine wasserhelle Flüssigkeit vom Geruch und Geschmack der bitteren Mandeln.

Der Name „Blausäure“ rührt davon her, daſs sich die Blausäure leicht durch Eisensalze, Natronlauge und Salzsäure in Berliner Blau, eine Cyanverbindung, umwandeln läſst; daher hat auch Cyan (Kyanos = blau) seinen Namen. Eine Verbindung von Cyan, Sauerstoff und Stickstoff ist die Knallsäure, welche mit Quecksilber einen explodierenden, zur Füllung von Zündhütchen dienenden Stoff, das Knallquecksilber, bildet.

4. Verbindet sich der vierwertige Kohlenstoff mit vier einwertigen Wasserstoffatomen, so erhält man das **Sumpf-** oder **Grubengas** oder **Methan**; dasselbe entsteht beim Verwesen organischer Stoffe bei Luftabschluſs, besonders in Sümpfen, doch findet es sich auch in Steinkohlenlagern und gibt dort, mit atmosphärischer Luft vermischt, zu schweren Unglücksfällen Veranlassung, da genanntes Gemisch sich an einer Flamme mit ungeheurer Geschwindigkeit zu Kohlendioxyd und Wasserdampf vereinigt ($CH_4 + 4\,O = CO_2 + 2\,H_2O$). Um solche Explosionen zu verhüten, hat Davy eine Sicherheitslampe konstruiert (Fig. 398). Die Flamme ist in dieser Lampe von einem äuſserst feinmaschigen Drahtnetz umgeben. Findet sich nun in einem Bergwerk Sumpfgas, so entzündet sich dasselbe an der Flamme, und die Flamme würde sich nach auſsen ausbreiten, wenn das Drahtnetz nicht vorhanden wäre; das letztere leitet aber die Wärme so stark ab, daſs sich erst dann das auſserhalb der Lampe befindliche Gas entzünden kann, wenn das Drahtnetz glühend geworden ist. Ehe es aber so weit kommt, hat der Bergmann Zeit, den gefährlichen Raum zu verlassen oder, wenn nötig, die Flamme zu verlöschen. — Weil Drahtnetze die Flammen abkühlen, benutzt man dieselben auch, wenn Flüssigkeiten in Glasgefäſsen erhitzt werden, als Unterlage, um das Springen der Gläser zu verhüten. — Das Prinzip der Davyschen Lampe kann man übrigens einfach zeigen, wenn man über einen geöffneten Bunsenbrenner im Abstand von 5—10 cm ein Drahtnetz hält und dann oberhalb des Netzes das Gas entzündet; das Gas brennt dann zunächst nur oberhalb des Netzes und erst nach einiger Zeit, wenn das Netz selbst heiſs genug geworden ist, schlägt die Flamme nach unten durch (Fig. 399).

Fig. 398.

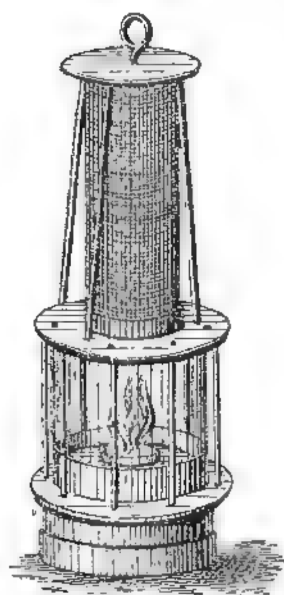
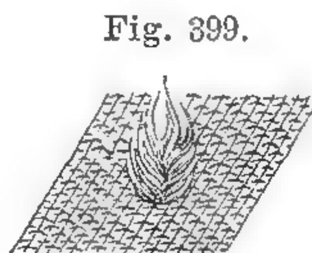


Fig. 399.



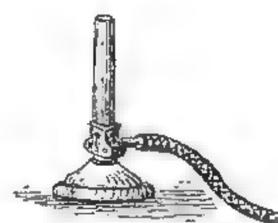
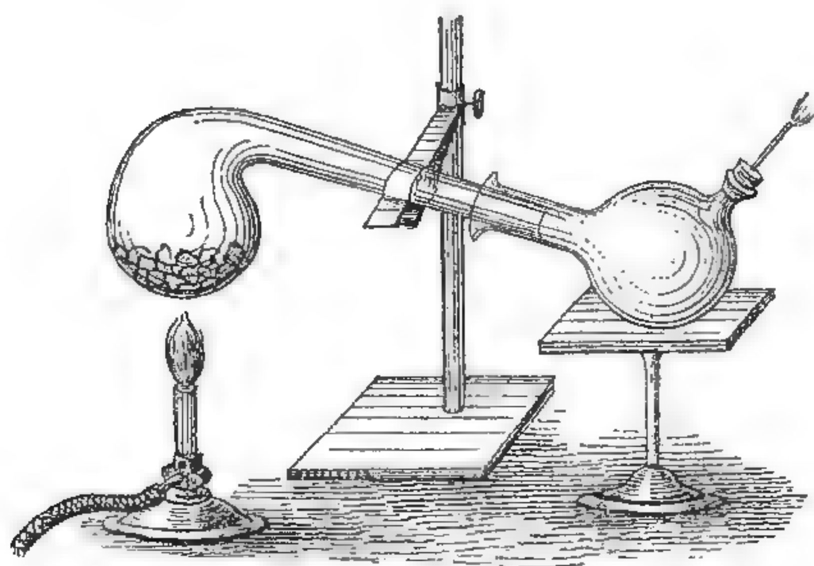


Fig. 400.



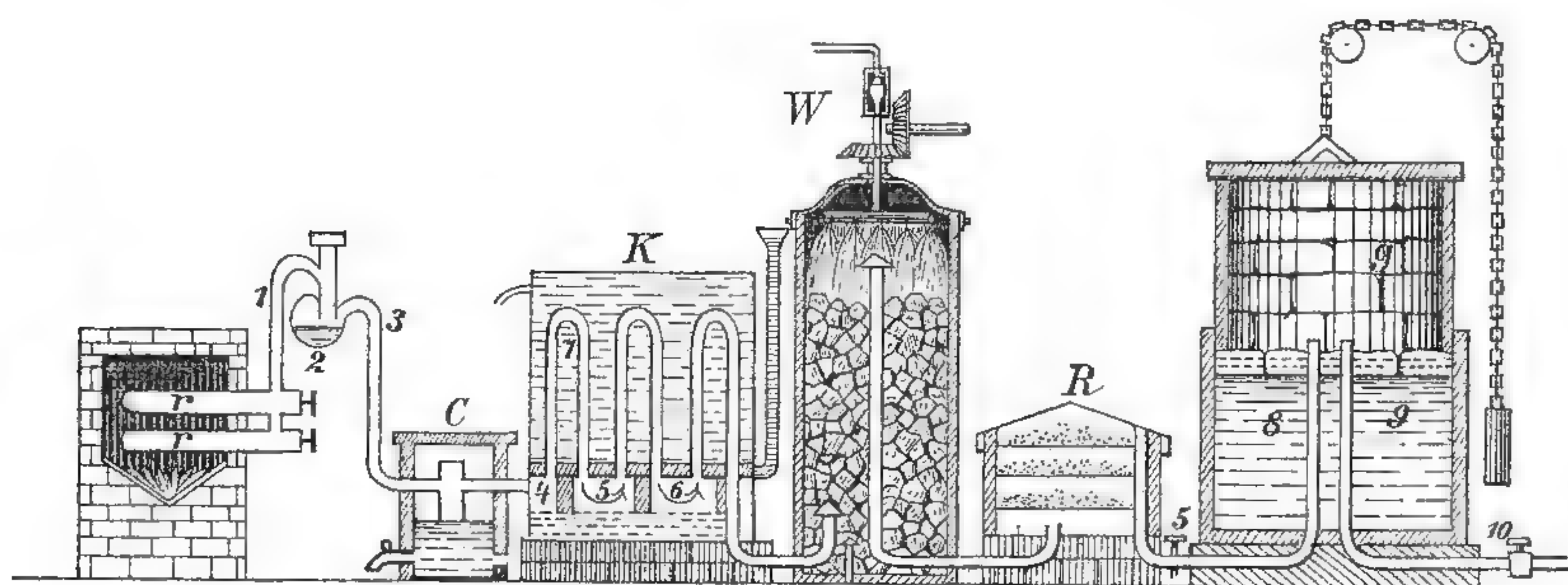
Verbindet sich 1 Kohlenstoffatom (C) mit 2 Wasserstoffatomen (2 H), so erhält man das zweiwertige Radikal CH_2, welches mit CH_2 das **Äthylen** oder **ölbildende Gas** C_2H_4 bildet. Dasselbe ist der wirksamste Bestandteil des Leuchtgases.

Man stellt **Leuchtgas** durch trockene Destillation dar, im kleinen, indem man Holzspäne oder gestoſsene Steinkohlen in einer kleinen Retorte erhitzt (Fig. 400), an die Retorte schlieſst sich eine kugelförmige Vorlage an, deren einer Tubus mit der Retorte verbunden ist, während im anderen sich ein Kork mit Glasröhre befindet. Die Zersetzungsprodukte verdichten sich teilweise in der Vorlage zu Teer, teilweise entweichen die Gase durch die Glasröhre und brennen dort mit hellleuchtender Flamme.

Im groſsen ist dies Gas zuerst 1819 in England gewonnen und zur **Gasbeleuchtung** verwendet worden. In den Öfen einer Gasanstalt liegen je 5—10 groſse guſs-

eiserne oder tönerne Röhren, Retorten *rr* (Fig. 401), welche mit Steinkohlen gefüllt, verschlossen und in Rotglühhitze versetzt werden. Das sich entwickelnde Gas ist unrein und enthält noch Dämpfe von Steinkohlenteer, Kohlensäure, Schwefelwasserstoff (SH_2), Ammoniak und andere Gase und Dämpfe. Um es davon zu befreien, läfst man es aus den Retorten durch kleinere Röhren 1, 2, 3 in einen ringsum verschlossenen Behälter, die Teerzisterne *C*, strömen, wo es den Steinkohlenteer absetzt; aus der Teerzisterne leitet man es zuerst durch den Kühlapparat *K*, in welchem es durch viele, von kaltem Wasser umspülte Röhren auf und nieder steigt; von *K* aus gelangt das Gas in den Waschturm oder Skrubber *W*; derselbe ist mit Koks oder Holzwolle angefüllt und wird von oben von einer hinreichend grofsen Menge Wasser durchrieselt; dadurch werden dem durchströmenden Leuchtgas Schwefel- und Cyanverbindungen, besonders aber Kohlendioxyd und Ammoniak entzogen. Vom Waschturme aus geht dann das Gas durch den Reinigungskasten *R*, der auf mehreren siebartigen Zwischenböden Sägespäne mit Kalk und Eisenvitriol oder mit Eisenerzen enthält und mittels derselben dem

Fig. 401.



Leuchtgas den noch übrigen Schwefelwasserstoff und die Cyanverbindungen entzieht. Nachdem es so von den fremdartigen Beimischungen befreit ist, sammelt sich das Gas mit Hilfe einer Saugpumpe im Gasometer *g*, einer unten offenen grofsen Glocke aus Eisenblech, die in einen Wasserbehälter eintaucht, und hebt dieselbe allmählich empor, bis sie nur wenig ins Wasser eintaucht. Soll das Gas verwendet werden, so wird der Hahn einer aus dem Gasometer führenden Röhre Nr. 10 geöffnet; das Leuchtgas strömt dann durch dies Hauptrohr und in der Erde liegende Röhren bis zu den Lampen und wird dort nach Öffnen des Hahnes entzündet.

Der Steinkohlenteer besteht aus einem Gemenge verschiedener Kohlenwasserstoffe; dieselben werden zu Anilinfarben, zu verschiedenen in der Medizin verwendbaren Stoffen, wie Antipyrin und Karbolsäure, zu Naphthalin, zu Saccharin, zu Asphalt, zu Brenn- und Schmierölen usw. verarbeitet; das Ammoniakwasser wird auf Ammoniak und schwefelsaures Ammon ($[NH_4]_2SO_4$) als Düngemittel verarbeitet. Aus den Eisenerzen und dem in ihnen aufgenommenen Schwefelwasserstoff werden in chemischen Fabriken Blutlaugensalz und Schwefelsäure gewonnen.

Verbindet sich der Kohlenstoff C mit einem Wasserstoff H, so erhält man das dreiwertige Radikal CH; zwei solcher Radikale verbinden sich miteinander zu C_2H_2, dem **Azetylen.** Es ist dies der einzige Kohlenwasserstoff, der sich direkt aus den Elementen herstellen läfst. Man pflegt Azetylen aber aus Calciumkarbid CaC_2 herzustellen. Letzteres gewinnt man durch Einwirkung des elektrischen Flammenbogens auf ein Gemenge von Kohlen und gebranntem Kalk ($CaO + 3\,C = CaC_2 + CO$). Aus dem Calciumkarbid erhält man Azetylen, wenn man

es mit Wasser übergiefst ($CaC_2 + 2 H_2O = Ca[OH]_2 + C_2H_2$); als Nebenprodukt entsteht also gelöschter Kalk. Eine Anstalt zur Gewinnung des Azetylens ist sehr einfach und besteht aus einem Wasserbehälter, dem Entwicklungsgefäfs und dem Gasometer. Die Flamme des Azetylens zeichnet sich durch grofse Lichtstärke aus. Es wird besonders in Fahrradlaternen gebrannt und an Orten, wo sich die Errichtung einer Gasanstalt nicht verlohnt. Wegen der leichten Explosionsfähigkeit einer Mischung von Azetylen und Luft bedarf es bei der Benutzung von Azetylenanlagen grofser Vorsicht.

§ 209. Das Verbrennen und das Löschen des Feuers.

1. Wenn man Holz anzündet, d. h. wenn man es an freier Luft auf eine Temperatur von ungefähr 300 ^{0} C. erhitzt, so brennt es mit einer Flamme. Die Flamme zersetzt dann infolge ihren hohen Temperatur die ihr benachbarten Holzteile in verschiedene brennbare Kohlenwasserstoffverbindungen und erhält so neue Nahrung, dafs sie weiterbrennen kann und das im Holz enthaltene Wasser verdampft. Alle Körper, die beim Erhitzen nicht in Gase zersetzt werden, glühen nur, brennen aber nicht mit Flamme. **Eine Flamme** ist eine Gasmasse, welche infolge chemischer Vorgänge bis zum Glühen erhitzt ist. In den hellleuchtenden Flammen befinden sich glühende feste Körper, meist glühende Kohlenstoffteilchen.

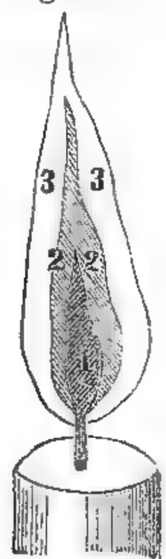


Fig. 402.

2. An einer Kerzen- oder Lichtflamme (Fig. 402) sind drei Teile zu unterscheiden: im Innern ein dunkler Kegel (Nr. 1) von unverbrannten Kohlenwasserstoffen, die sich beim Zersetzen des Stearins oder Wachses durch Wärme bilden; rings um ihn ein leuchtender Mantel, in welchem eine unvollständige Verbrennung stattfindet, die Kohlenstoffteilchen glühen und daher leuchten (Nr. 2), und die äufsere blaue Hülle, in der durch den Zutritt des Sauerstoffs der Luft die Verbrennung eine vollständige wird (Nr. 3). Läfst man in den dunklen Kegel von Kohlenwasserstoffgas im Innern der Flamme atmosphärische Luft, also auch Sauerstoff eintreten, wie dies bei den Lampen mit doppeltem Luftzuge der Fall ist, so verbrennt das Gas auch hier, und man erhält ein helleres Licht. Läfst man aber, wie beim Bunsenbrenner, unten durch Öffnungen so viel atmosphärische Luft hinzutreten, dass auch die vorher nur glühenden Kohlenstoffteilchen verbrennen, so wird die ganze Flamme nichtleuchtend, aber viel heifser.

3. Bei der Verbrennung der Kohlenwasserstoffe verbindet sich der Kohlenstoff mit dem Sauerstoff zu Kohlensäure oder Kohlendioxyd und der Wasserstoff mit dem Sauerstoff zu Wasserdampf. Bringt man über ein brennendes Licht eine trockne Flasche, so beschlagen die inneren Wände der Flasche mit Wassertropfen, und hineingegossenes und umgeschütteltes Kalkwasser trübt sich, woran das Vorhandensein von Kohlensäure zu erkennen ist. Strömt zu einer Flamme nicht genug Luft, so kann nicht aller Kohlenstoff verbrennen, die Lampe rufst dann. Dem Rufsen einer Lampe kann deshalb mitunter abgeholfen werden, wenn man den Zylinder in seiner Einfassung etwas nach oben schiebt, um dadurch die Eintrittsöffnung für die Luft etwas zu erweitern. Das trübe Brennen der Lampe kann ebenso wie das schlechte Brennen des Feuers im Ofen darin seinen Grund haben, dafs die Stubenluft zu wenig Sauerstoff enthält; dann kann das Hellerbrennen nur durch das Öffnen der Fenster bewirkt werden, weil dann genügend frischer Sauerstoff hereinströmt.

4. Stellt man über ein brennendes Licht einen Lampenzylinder so, dafs unten keine Luft zur Flamme treten kann, so erlischt das Licht. Dagegen brennt eine

mit Zuglöchern versehene Lampe mit einem Zylinder heller als ohne denselben, weil die erhitzte Luft sich dann nicht nach allen Seiten ausbreiten kann, sondern nach oben ziehen mufs und dadurch in Lampenzylindern, wie in Schornsteinen, der Sauerstoff bringende Luftzug vermehrt wird. Da zum Verbrennen ein höherer Wärmegrad und der Luftzutritt nötig ist, so ergibt sich: **Feuer läfst sich durch Abkühlung oder durch Absperrung der Luft löschen.** Beim Löschen mit Wasser ist die Abkühlung die Hauptsache; der Luftzutritt wird gehemmt, indem man die Öffnungen brennender Schornsteine oder Keller verstopft; über brennende Menschen wirft man grofse Decken.

§ 210. Andere wichtige Metalloide.

1. Der **Schwefel** (S, d. h. Sulfur = 32) findet sich in freiem Zustande in der Nähe von tätigen oder erloschenen Vulkanen, in Europa namentlich in Sizilien und Island. Mit Metallen verbunden, bildet er eine Anzahl wichtiger Erze, wie Schwefelkies FeS_2, Kupferkies, bestehend aus CuS, FeS; Bleiglanz PbS, Zinkblende ZnS usw.; ferner findet er sich mit Metallen und Sauerstoff verbunden in den schwefelsauren Salzen, wie Gips oder Calciumsulfat ($CaSO_4 + 2\,H_2O$), Schwerspat oder Baryumsulfat ($BaSO_4$), Glaubersalz oder Natriumsulfat ($Na_2SO_4 + 10\,H_2O$); in kleinen Mengen findet er sich auch im Pflanzen- und im Tierkörper, besonders im Eiweifs. Der Schwefel ist gelb, spröde, geschmacklos und fast geruchlos, ein schlechter Leiter der Elektrizität und Wärme; in Wasser ist er unlöslich; löslich ist er im Schwefelkohlenstoff. Erhitzt man ihn, so schmilzt er bei 111° zu einer dünnen, honiggelben Flüssigkeit. Weiter bei Luftabschlufs erhitzt, wird Schwefel immer dunkler und mehr und mehr dickflüssig; von 300° so wird er dünnflüssig und verwandelt sich bei 450° in rotbraunen Dampf, welcher bei starker Abkühlung sofort aus dem gasförmigen in den festen Zustand übergeht (Sublimation) und die bekannten Schwefelblumen bildet, während er sich bei allmählicher Abkühlung zu einer Flüssigkeit verdichtet (Destillation). Der bei 111° dünnflüssige Schwefel kann in Holzformen abgelassen werden, in denen er nachher fest wird; er heifst dann Stangenschwefel. Weil Schwefel sich in der Luft bei 260° entzündet, wird er zur Anfertigung von Schwefelhölzern (die jetzt gebräuchlichen „schwedischen" Zündhölzer enthalten keinen Schwefel) und von Schiefspulver, einem Gemenge von Schwefel, Kohle und Kalisalpeter, verwandt; auch dient er zur Darstellung von Schwefeldioxyd und der Schwefelsäure. Das Schwefeldioxyd (SO_2) ist das beim Verbrennen von Schwefel sich bildende, farblose und luftförmige Oxyd, das einen erstickenden Geruch hat und mehrere organische Farbstoffe bleicht, weshalb es zum Bleichen von Seide, Wolle und Stroh angewandt wird, Stoffen, die durch die Chlorbleiche zerstört werden würden. Die Wirkung beruht darauf, dafs das Schwefeldioxyd mit den Farbstoffen eine farblose, leicht zersetzbare Verbindung eingeht. Bringt man z. B. eine rote Rose unter eine Glasglocke, unterhalb der man Schwefel zu Schwefeldioxyd verbrannt hat, so wird dieselbe weifs, nimmt aber ihre rote Farbe wieder an, wenn man sie nachher in verdünnte Schwefelsäure eintaucht. Mit Hilfe des Schwefeldioxyds kann man auch Heidelbeer- oder Weinflecke aus der Wäsche beseitigen; doch mufs man den gebleichten Farbstoff hinterher auswaschen, weil sonst an der Luft der frühere Farbstoff wiederhergestellt wird. — Schwefeldioxyd wird ferner zum Löschen von Feuer, z. B. von Schornsteinbränden, verwendet. Endlich ist es seit uralten Zeiten als Desinfektionsmittel bekannt: wird doch schon in Homers „Odyssee" der Schwefel zum Ausräuchern verwendet. („Odyssee" XXII 481 sagt Odysseus zur Pflegerin Eurykleia: „Alte, bringe mir Feuer und fluchabwendenden Schwefel, dafs ich den Saal durchräuchere.") Die Schimmelpilze, welche den dumpfigen Ge-

ruch in feuchten Räumen verursachen, werden durch Schwefeldioxyd zerstört. Gefäfse irgendwelcher Art, die zum Aufbewahren von Nahrungs- oder Genufsmitteln verwendet werden sollen, pflegt man durch Verbrennen von Schwefelfäden in denselben keimfrei zu machen. Die Verbindung von Schwefeldioxyd mit Wasser ist die schweflige Säure H_2SO_3, die in ähnlicher Weise wie das Schwefeldioxyd verwendet wird.

Die englische Schwefelsäure (H_2SO_4) ist eine farblose oder schwach gefärbte Flüssigkeit; man erhält sie, indem man durch Verbrennen von Schwefel Schwefeldioxyd (SO_2) herstellt und dieses sowie Wasserdampf und Luft in Bleikammern (inwendig mit Bleiplatten überzogene Kammern) strömen läfst, deren Boden mit Wasser bedeckt ist, und in denen Schalen mit Salpetersäure aufgestellt sind. Das Schwefeldioxyd (SO_2) verbindet sich mit dem Wasser zu schwefliger Säure, und letztere entnimmt der Salpetersäure Sauerstoff, wird zu Schwefelsäure und sammelt sich auf dem Boden der Kammern; durch Erhitzen der Säure in Bleipfannen und Platinretorten wird sie vom Wasser freier und heifst dann konzentrierte englische Schwefelsäure. Dieselbe ist stark hygroskopisch, d. h. sie nimmt sehr gern Wasser auf; sie verbindet sich mit Wasser, in das sie vorsichtig gegossen wird, unter Wärmeerregung zu verdünnter Schwefelsäure. Ihre hygroskopische Eigenschaft ist so stark, dafs sie sogar Körpern, welche Wasserstoff und Sauerstoff im Verhältnis von 2:1 enthalten, wie das Wasser, diese beiden Elemente entzieht und sie auf diese Weise verkohlt, da der Kohlenstoff allein zurückbleibt; auf diese Weise kann Holz und Zucker von der Schwefelsäure verkohlt werden. Die Schwefelsäure löst viele Metalle auf; Wismut, Kupfer, Quecksilber, Silber werden nur von heifser konzentrierter Schwefelsäure angegriffen und in pulverförmige Sulfate verwandelt, während Gold und Platin von ihr gar nicht angegriffen werden. Auf andere Weise wird die rauchende Schwefelsäure (Nordhäuser Vitriolöl) hergestellt, welche eine Lösung von Schwefeltrioxyd in englischer Schwefelsäure ist und daher die Formel ($SO_3 + H_2SO_4 = H_2S_2O_7$) hat.

2. **Phosphor** (Phosphorus = Lichtträger; P = 31). Der Phophor kommt nur in Verbindungen vor, im Mineralreich als phosphorsaurer Kalk, in den Pflanzen vorzugsweise in den Samen und im Tierreiche als Hauptbestandteil der Knochen der Wirbeltiere, besonders der Säugetiere. (Ein erwachsener Mensch hat durchschnittlich 9—12 Pfund Knochen; darin sind 6—8 Pfund Knochenerde, 5—7 Pfund phosphorsaurer Kalk, 2—3 Pfund Phosphorsäure und etwa 1 Pfund Phosphor.) Den Phosphor stellt man aus Tierknochen dar, indem dieselben zunächst gebrannt, dann mit verdünnter Schwefelsäure übergossen werden. Das erhaltene Produkt wird dann eingedampft und mit Kohlenpulver erhitzt; dadurch erhält man den Phosphor als farbloses Gas, das in kalten, kupfernen Gefäfsen verdichtet wird. Der gewöhnliche Phosphor ist hellgelb und weich wie Wachs; er wird bei einer Temperatur von 44° C flüssig.

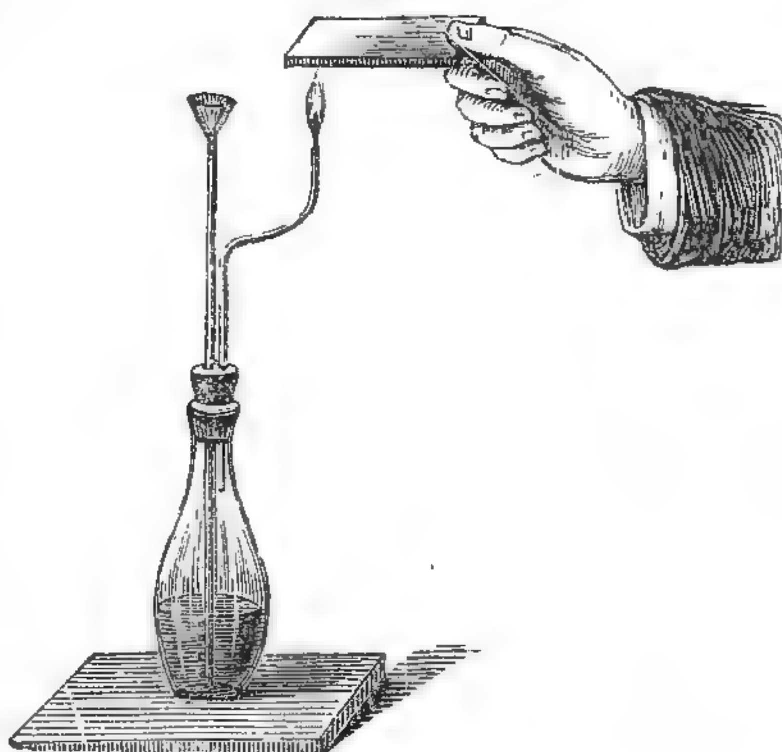
An der Luft oxydiert er bei gewöhnlicher Temperatur zu Phosphortrioxyd P_2O_3. Dasselbe bildet einen weifsen Nebel, der knoblauchartig riecht und im Dunkeln leuchtet. Schon bei 60° C entzündet er sich.

Um ihn gegen die Einwirkung des Sauerstoffs zu schützen, bewahrt man ihn unter Wasser auf, da seine Affinität zum Sauerstoff nicht so grofs ist, dafs er Wasser zersetzen könnte. Gelber Phosphor ist ein heftiges Gift; schon 0,1 g Phosphor, in eine offene Wunde gebracht, wirkt tödlich. Chlorkalklösung wirkt als Gegenmittel, wenn der Phosphor in offene Wunden gekommen ist; Auspumpen des Magens, Sodawasser oder schleimige, magnesiahaltige Getränke wirken günstig, wenn Phosphor in den Magen gelangt ist.

Angewandt wird der Phosphor, vermengt mit Fett (Lösungsmittel), Mehl und

Zucker, als Rattengift, ferner zur Verfertigung der Streichhölzchen; auf dem Holze derselben findet sich an der Spitze Schwefel, darüber Phosphor und hierüber eine Leimschicht. Beim Reiben entzündet sich der Phosphor und verbindet sich mit dem Sauerstoff; dabei entsteht so viel Wärme, dafs sich nun der Schwefel zu Schwefeldioxyd verbinden kann, und hierbei wird wieder die Temperatur auf einen Grad gesteigert, dafs nunmehr auch das Holz zum Entzünden gebracht wird. Löslich ist der Phosphor in Schwefelkohlenstoff (CS_2). Um zu zeigen, dafs der Phosphor leicht entzündliche Gegenstände auch bei gewöhnlicher Temperatur zum Entzünden bringen kann, löst man etwas Phosphor in Schwefelkohlenstoff und giefst die Lösung auf ein Stück Fliefspapier; nach dem Verdunsten des Schwefelkohlenstoffs, was sehr schnell vor sich geht, entzündet der auf dem ganzen Papier verbreitete Phosphor dasselbe. — Weil der Phosphor, wenn er unter Wasser dem Sonnenlicht ausgesetzt und rot geworden ist, sich erst bei höherer Temperatur entzündet und auch seine giftigen Eigenschaften verloren hat, so wird der **rote Phosphor** (nicht amorpher, wie er mitunter genannt wird, denn er ist kristallinisch) mit feinem Sand gemengt als Reibfläche für die Sicherheitszündhölzer oder schwedischen Streichhölzer benutzt; die Zündmasse dieser Hölzer besteht aus chlorsaurem Kali und Schwefelantimon. Diese Zündhölzer sind übrigens schon 1848 in Deutschland, aber erst 1870 fabrikmäfsig in Schweden hergestellt worden. Das bei der Herstellung des Phosphors aus Knochenasche und Schwefelsäure als Zwischenprodukt erhaltene Superphosphat, bestehend aus saurem phosphorsauren Kalk und schwefelsaurem Kalk, ist ein wichtiges Düngemittel. — Wird Phosphor in Kalilauge erhitzt, so entwickelt sich ein farbloses, unangenehm riechendes Gas, Phosphorwasserstoff, das sich an der Luft von selbst entzündet.

Fig. 403.



3. **Arsen** (As = 75). Das Arsen kommt gediegen, häufiger aber in Verbindungen vor. Die arsenhaltenden Erze werden geröstet oder bei freiem Luftzutritte erhitzt, wobei sich das Arsen mit dem Sauerstoff zu arseniger Säure (Arsentrioxyd oder Arsenik, As_2O_3) verbindet; die arsenige Säure wird in langen, tönernen Röhren mit Kohle geglüht; so wird Arsen vom Sauerstoff frei, luftförmig und setzt sich an dem oberen, kälteren Teil der Röhren als fester Körper ab. Arsen ist von stahlgrauer Farbe und glänzend wie Metall, mufs aber seiner chemischen Eigenschaften wegen zu den Metalloiden gerechnet werden; beim Erhitzen geht es, ohne zu schmelzen, aus dem festen in den luftförmigen Zustand über, verbreitet einen knoblauchartigen Geruch und verbrennt zu weifser arseniger Säure (Arsenik). Arsenik ist ein starkes Gift, das zur Vertilgung der Ratten und zur Herstellung schöner, aber der Gesundheit nachteiliger Farben verwendet werden kann (Schweinfurter Grün). Bei Vergiftungsfällen wird das Vorhandensein von Arsenik durch die Marshsche Arsenikprobe nachgewiesen; man tut den zu untersuchenden Stoff in eine zur Entwicklung von Wasserstoff instandgesetzte Flasche, läfst das Gas aus einer kleinen Öffnung strömen, zündet es an und hält eine kleine Porzellanscheibe in die Flamme (Fig. 403). Ist Arsenik in der Flasche, so ist das sich entwickelnde Gas der beim Einatmen sehr giftige Arsenwasserstoff AsH_3, und es zeigen sich auf dem Porzellan schwarze spiegelnde Flecken von Arsen, der Arsenspiegel; derselbe verschwindet durch Natriumhypochloritlösung, während der ihm ähnliche Antimonspiegel von Natriumhypochlorit nicht aufgelöst wird. Bei

diesem Nachweis von Arsen hat man zur Wasserstoffentwicklung chemisch reine Schwefelsäure und chemisch reines Zink zu nehmen, da diese Körper in unreinem Zustande oft Arsenik enthalten.

Auf den normalen Menschen wirken schon 150 mg Arsenik tödlich, doch kann man sich so an den Genuſs von Arsenik gewöhnen, daſs man täglich etwa 250 mg ohne Nachteil für die Gesundheit verträgt. In kleinen Dosen (bis 5 mg) wird Arsenik als Medikament verwendet; auch sind verschiedene Mineralquellen, wie die zu Cudowa und Pyrmont, wegen ihres Arsengehalts geschätzt. Auch den Haustieren, besonders den Pferden, wird Arsenik eingegeben, da dasselbe die Bildung von Fett begünstigt. Ferner wird es zum Konservieren tierischer Objekte verwendet (Wickersheimer Flüssigkeit). Als Gegenmittel bei Arsenikvergiftungen wendet man Magnesia oder frischbereitetes Eisenhydroxyd an; beide Körper bilden mit dem Arsenik, also der arsenigen Säure, arsenigsaure Salze, die vom Organismus nicht aufgenommen werden.

4. Das **Antimon** (Stibium, Sb = 120) war schon den Alten bekannt; es ist in seinen Eigenschaften dem Arsen nahestehend, doch hat es noch mehr metallische Eigenschaften als dieses. Es kommt gediegen in der Natur vor, mehr aber noch in Verbindungen, von denen die bekannteste das Grauspieſsglanzerz (Sb_2S_3) ist.

Angewendet wird es fast nur in Legierungen; so ist das Britanniametall eine Legierung von Zinn und Antimon mit einem Zusatz von Kupfer und Zink, das Letternmetall eine solche von Blei und Antimon. — Antimon läſst sich in ganz entsprechender Weise wie Arsen durch einen Spiegel nachweisen, der aber in Natriumhypochlorit nicht löslich ist.

5. Das **Wismut** (Bi, d. h. Bismutum = 210) ist in seinen physikalischen Eigenschaften durchaus metallisch. Wie Antimon, wird es fast nur in Legierungen angewandt, die sich durch ihren niedrigen Schmelzpunkt auszeichnen; so schmilzt die Lipowitzsche Legierung schon bei 60° C. Dieselbe besteht aus 15 Teilen Wismut (Schmp. 270°), 8 Teilen Blei (Schmp. 300°), 4 Teilen Zinn (Schmp. 235°) und 3 Teilen Cadmium (Schmp. 320°).

Auſserdem werden Wismutsalze äuſserlich bei Hautwunden und innerlich bei Darmentzündungen angewendet.

6. Das **Bor** (B = 11) findet sich in der Natur in der Borsäure in vulkanischen Kratern, besonders aber in den Fumarolen Toskanas, ferner als Borax (borsaures Natron) in Tibet und Kalifornien. Die Borsäure wird wegen ihrer antiseptischen Eigenschaften vielfach in der Medizin verwendet. In ähnlicher Weise wirkt der Borax und wird deshalb zum Waschen benutzt. Wenn Borax am Platindraht erhitzt wird, so bläht er sich auf unter Ausstoſsen des Kristallwassers und schmilzt zu einer farblosen Perle. Die Boraxperle vermag Metalloxyde aufzulösen und wird von denselben gefärbt, z. B. von Mangan violett, von Eisen grün oder rotgelb, von Chrom grün usw.; sie dient deshalb zum Nachweise dieser Metalle. Da Borax Metalloxyd auflöst, benutzt man ihn zum Hartlöten; bringt man an die zu lötende Stelle Borax und Hartlot, so sorgt der Borax beim Erhitzen in der Gebläseflamme für oxydfreie Berührungsstellen, da er das sich bildende Metalloxyd auflöst; nur auf diese Weise ist ein Aneinanderhaften der zu lötenden Metallstücke möglich. Borsäure erkennt man an der grünen Farbe, die sie einer Flamme verleiht. Man zeigt dies, indem man Borsäure oder Borax mit Alkohol mischt, das Gemisch auf Watte gieſst und dann anzündet.

7. Das **Silicium** (Si = 28) kommt nicht rein, sondern immer mit Sauerstoff verbunden vor, besonders als Kieselerde oder Siliciumdioxyd. Das Siliciumdioxyd ist auſserordentlich verbreitet als Sand, Feuerstein, Quarz, Bergkristall, Achat und Karneol; auch in manchen heiſsen Quellen, z. B. in Island, ferner in Pflanzen und Tieren ist Kieselsäure enthalten. Für die Landwirtschaft ist es wichtig, aus der Asche der Pflanzen zu ermitteln, welche Stoffe dieselben enthalten, damit man dem Boden die Stoffe zuführen kann, deren die Pflanze bedarf. Gräser und Schachtelhalme sind besonders reich an Silicium-

dioxyd, deshalb verwendet man auch die Schachtelhalme als Scheuergras zum Putzen von Metallgefäfsen; auch die Diatomeen oder Kieselalgen sind reich an diesem Oxyd; sie bilden aus ihren unzerstörbaren Schalen mächtige Lager; so findet sich in der Ebene von Magdeburg bis Stettin ein Diatomeenlager von 5—20 m Mächtigkeit.

Die kieselsauren Salze oder Silikate finden sich in einer grofsen Anzahl von Mineralien, Feldspat, Granit, Glimmer, Gneis und Ton. Durch Zusammenschmelzen von Kiessand und kohlensaurem Natron (Soda) erhält man kieselsaures Natron oder Natronwasserglas; nimmt man Pottasche (kohlensaures Kali) statt der Soda, so erhält man Kaliwasserglas. Kali- und Natronwasserglas werden zum Kitten verwendet und zum Imprägnieren von Stoffen, um sie gegen das Anbrennen zu schützen. Glas ist ein Doppelsalz von kieselsaurem Natron (oder Kali) und kieselsaurem Kalk. Das Kaliglas ist schwerer schmelzbar und besitzt einen höheren Glanz. Sand, Soda und Kalk werden zusammen in tönernen Gefäfsen geschmolzen; die unschmelzbaren Verunreinigungen (die Glasgalle) werden abgeschöpft und, nachdem die Temperatur etwas gesunken ist, aus der zähflüssigen Masse die verschiedensten Gegenstände geblasen. Kalibleiglas wird auch Kristallglas oder Flintglas genannt, weil zu seiner Herstellung aufser Kali und Bleioxyd auch noch vielfach Feuerstein (Flint) genommen wird. Milchglas ist durch zugesetzte Knochenasche halb undurchsichtig, Email oder Schmelz durch Zusatz von Zinnoxyd undurchsichtig gemacht. Schon um 2000 v. Chr. kannten die Ägypter die Kunst der Glasbereitung und -bearbeitung.

§ 211. Die leichten Metalle.

1. **Kalium** (K = 39). Das Kalium findet sich, mit anderen Elementen verbunden, in den verbreitetsten Gebirgsarten, vor allem in den feldspat- und glimmerhaltigen Gesteinen, durch deren Verwitterung lösliche Kalium- und Natriumsalze in die Ackererde und von hier in die Pflanze gelangen. Von grofser Wichtigkeit ist es, dafs die Kaliumsalzlösungen, nicht aber die Natriumsalzlösungen von der obersten Erdschicht absorbiert werden. Die chlorophyllhaltigen Pflanzen brauchen nämlich die Kaliumsalze, um den Prozefs des Wachstums und der Assimilation ausführen zu können. Enthält daher der Erdboden nicht genug lösliche Kalisalze, so mufs man durch künstliche Düngemittel diesem Mangel abhelfen. Die Asche der Landpflanzen enthält daher auch wieder reichlich kohlensaures Kali. Da das Kalium starke chemische Verwandtschaft zum Sauerstoff hat, so ist es erst Anfang des 19. Jahrhunderts Davy gelungen, dasselbe darzustellen. Man stellt das Kalium entweder auf elektrolytischem Wege dar, oder man mengt kohlensaures Kali mit Kohle, erhitzt das Gemenge in einer eisernen Retorte und fängt die sich entwickelnden grünen Dämpfe in einem abgekühltem Gefäfs unter Steinöl auf; in demselben verdichten sich die Dämpfe zu einem glänzenden Körper. Kalium ist zinnweifs und so weich, dafs es sich leicht mit einem Messer schneiden läfst. Die eben blofsgelegte Fläche sieht metallisch-silberweifs aus, überzieht sich aber sofort mit einer grauen Oxydschicht wegen der starken chemischen Affinität des Kaliums zum Sauerstoff; deshalb wird das Kalium im Steinöl aufbewahrt, welches nur Wasserstoff und Kohlenstoff, aber keinen Sauerstoff enthält und spezifisch leichter als Kalium ist. Auf Wasser schwimmt Kalium und verbindet sich mit dem Sauerstoff desselben; dabei entsteht eine so hohe Wärme, dafs ein Teil des Kaliums verdampft; der Kaliumdampf färbt die Flamme violett.

Das kohlensaure Kali oder die Pottasche (K_2CO_3) wird folgendermafsen dargestellt: Holzasche wird in Wasser gelöst und die Flüssigkeit eingedampft; der braune Rückstand wird in eisernen Töpfen weifsgebrannt und kommt als rohe Pottasche in den Handel; aufserdem gewinnt man Pottasche aus den Rückständen der Rübenzuckerfabrikation, sowie durch Abdampfen des Waschwassers der Schafwolle. Die Pottasche wird wegen ihrer starken hygroskopischen Eigenschaften nicht an der Luft aufbewahrt, sondern in verschlossenen Gefäfsen,

daher der Name Pottasche (Topfasche). Sie findet in der Medizin, bei der Glasfabrikation und zur Darstellung anderer Kaliumverbindungen Anwendung. Jodkalium (JK) ist als Heilmittel und für das Photographieren von Wichtigkeit; seine Anwendung zum Nachweis von Ozon ist schon S. 246 erwähnt worden; Kalisalpeter (NO_3K) ist salpetersaures Kali; chlorsaures Kali (ClO_3K) explodiert leicht und wird bei Anfertigung von Feuerwerkskörpern und zur Darstellung von Sauerstoff gebraucht. Viele Kaliumsalze werden neben den Natriumsalzen aus dem Meerwasser, aber noch mehr aus den Salzlagern, die früheren Meeren ihre Entstehung verdanken, gewonnen. Ganz besonders ergiebig ist das Steinsalzlager von etwa 1000 m Mächtigkeit bei Aschersleben und Stafsfurt, welches z. B. im Jahre 1896 für 2,8 Millionen Mark Kochsalz und für 3,3 Millionen Mark Kalisalze (Abraumsalze) geliefert hat. Die Abraumsalze werden als Düngemittel oder zur Herstellung von anderen wichtigen Kaliumsalzen verwendet.

2. **Natrium** ($Na = 23$). Das Natrium findet sich in der Natur ebenfalls nicht in freiem Zustande, aber in zahlreichen Verbindungen, so im Steinsalz, im Meerwasser, in den Salzsolen, vielen Mineralien, auch in manchen Pflanzen und im Tierkörper. Das Natrium ist dem Kalium in seiner Beschaffenheit ähnlich, nur nicht so stark reaktionsfähig; auch wird es in ähnlicher Weise wie das Kalium dargestellt, nämlich durch Glühen eines Gemenges von kohlensaurem Natron (Soda) und Kohle und durch Verdichten der Natriumdämpfe in Steinöl. Wie das Kalium ist es weifs und weich, oxydiert sich an der Luft schnell und brennt auf erwärmtem Wasser oder wenn man es im Wasser auf Filtrierpapier legt mit gelber Flamme. Das kohlensaure Natron oder die Soda (Na_2CO_3) kann man nach dem im Jahre 1791 von Le Blanc erfundenen Verfahren darstellen. Durch Übergiefsen von Kochsalz mit Schwefelsäure und Glühen der Masse gewinnt man zunächst schwefelsaures Natron (Glaubersalz) und als Nebenprodukt Salzsäure ($H_2SO_4 + 2\,NaCl = Na_2SO_4 + 2\,HCl$); das schwefelsaure Natron wird dann mit kohlensaurem Kalk und Kohlenpulver geglüht; indem dabei die Kohle dem schwefelsauren Natron den Sauerstoff entzieht, bildet sich Schwefelnatrium, und dieses gibt an das Calcium des kohlensauren Kalks den Schwefel ab und vereinigt sich mit seiner Kohlensäure zu kohlensaurem Natron ($Na_2SO_4 + 2\,C = Na_2S + 2\,CO_2$; $Na_2S + CaCO_3 = CaS + Na_2CO_3$).

Seit dem Jahre 1860 macht das Ammoniakverfahren dem Le Blancschen starke Konkurrenz. Hierbei wird eine konzentrierte Kochsalzlösung unter Druck und Abkühlung mit Ammoniakgas und Kohlendioxyd behandelt. Es entsteht zunächst saures kohlensaures Ammon ($NH_3 + H_2O + CO_2 = [NH_4]HCO_3$). Das letztere Salz geht durch die Einwirkung des Kochsalzes in doppeltkohlensaures Natron über, während das Nebenprodukt Salmiak entsteht ($NH_4HCO_3 + NaCl = NaHCO_3 + NH_4Cl$). Durch Erhitzen des von Ammoniak noch nicht völlig befreiten doppeltkohlensauren Natrons entsteht wasserfreies kohlensaures Natron (kalzinierte Soda), das dann in Soda und in doppeltkohlensaures Natron umgewandelt werden kann. Durch Verbindung von Natron mit einer Fettsäure, die man aus Talg, Kokosnufsöl oder Palmöl erhalten kann, entsteht harte oder Natronseife, im Gegensatz zu der weichen Kaliseife (Schmierseife). — Chlornatrium oder Kochsalz, die wichtigste Natriumverbindung, wird 1. als Steinsalz, z. B. in Stafsfurt, Hallein, Wieliczka, 2. aus Salz- oder Solquellen und 3. aus dem Meerwasser gewonnen. Die Sole der Salzquellen wird gradiert; man läfst sie von 10 m hohen Holzgerüsten, Gradierwerken, auf Dornenreisig tröpfeln; dabei verdunstet eine Menge Wasser, und gleichzeitig schlägt sich der in Wasser schwerer lösliche Gips als Dornstein auf dem Reisig nieder; die nunmehr siedewürdige, gradierte Sole wird in eisernen Pfannen eingedampft. Aus dem Meerwasser wird an den Küsten des Mittelmeers das Kochsalz dadurch gewonnen,

dafs man Meerwasser in flache Behälter leitet und das Wasser verdunsten läfst. Da auf Kochsalz eine grofse Verbrauchssteuer erhoben wird, so wird das steuerfreie Viehsalz mit Eisenoxyd und Wermut, das Industriesalz mit Schwefelsäure denaturiert.

Kalium und Natrium sind die wichtigsten Alkalimetalle; ihre Oxyde heifsen Alkalien und sind die stärksten Basen.

Den Alkalimetallen verwandt ist das Radikal Ammonium (NH_4), welches aufser in seiner Legierung mit Quecksilber, dem Ammoniumamalgam, nur in Salzen bekannt ist. Die wichtigsten Ammonsalze sind Salmiak oder Chlorammonium (NH_4Cl) und kohlensaures Ammon (Hirschhornsalz).

3. **Calcium** ($Ca = 40$) ist ein wichtiger Bestandteil der festen Erdrinde, in welcher es besonders an Kieselsäure und an Kohlensäure gebunden vorkommt.

Der kohlensaure Kalk ($CaCO_3$) kommt vor als Kalkstein, Kreide, Kalkspat und Marmor.

Der Kalkstein wird in Kalköfen gebrannt und dadurch frei von Kohlendioxyd ($CaCO_3 = CaO + CO_2$); der dadurch erhaltene gebrannte Kalk wird hauptsächlich zu Mörtel verwandt, nachdem er vorher durch Übergiefsen mit Wasser gelöscht worden ist; dabei verbindet sich unter Wärmeentwicklung das Wasser mit dem gebrannten Kalk zu Calciumoxydhydrat oder gelöschtem Kalk ($CaO + H_2O = CaO_2H_2$), den man nachher mit Sand mengt und als Mörtel verwendet.

In den neuen Häusern geht dann aus dem gelöschten Kalk das Wasser wieder heraus und wird durch Kohlendioxyd ersetzt, so dafs nach und nach wieder kohlensaurer Kalk entsteht ($CaO_2H_2 + CO_2 = CaCO_3 + H_2O$). Im Laufe der Jahrhunderte macht sich sogar der Einflufs des zugefügten Sandes (Kieselsäure) bemerkbar, so dafs neben kohlensaurem Kalk auch noch kieselsaurer Kalk entsteht; dadurch erhält der Mörtel eine ganz besondere Festigkeit. Da in neuen Häusern viel Wasser aus dem Mörtel entweicht, so sind die Wände oft feucht und geben zur Bildung von Schimmel und anderen Pilzen und dadurch zur Entstehung von Krankheit leicht Veranlassung. Durch Aufstellung von offenen Kohlenfeuern und durch gehörige Ventilation kann ein Haus schneller ausgetrocknet werden. Wassermörtel oder Zemente erhält man durch Brennen ton- und kieselhaltigen Kalksteins. Auf die Beziehung zwischen Kohlendioxyd und Kalkwasser ist schon in dem Abschnitt über Kohlendioxyd hingewiesen worden.

Der schwefelsaure Kalk kommt vor als Gips, Marienglas und Alabaster ($CaSO_4 + 2\,H_2O$); wird Gips gebrannt, so wird das Wasser ausgetrieben; wird gebrannter Gips mit Wasser eingerührt, so wird er bildsam, nimmt dasselbe auf und erstarrt zu einer festen Masse; darauf beruht die Herstellung von Gipsabgüssen und Figuren, sowie das Eingipsen von metallenen Haken. Gips ist auch ein wichtiges Düngemittel für Futterkräuter und Hülsenfrüchte. Dabei verbindet sich der im Boden entstandene Ammoniak mit der Schwefelsäure des Gipses zu schwefelsaurem Ammoniak, das vom Wasser gelöst und von der Pflanzenwurzel aufgesaugt wird.

Wie schon beim Kohlendioxyd erwähnt wurde, löst Brunnen- und Quellwasser, weil es ja immer Kohlendioxyd absorbiert enthält, wenn es durch die betreffenden Gesteinschichten fliefst, kohlensauren und schwefelsauren Kalk, auch Magnesiasalze auf und wird, wenn es deren viel enthält, als hartes Wasser bezeichnet. — Chlorcalcium erhält man bei der Herstellung von Kohlendioxyd aus kohlensaurem Kalk mit Hilfe von Salzsäure ($CaCO_3 + 2\,HCl = CaCl_2 + H_2O + CO_2$). Beim Erkalten der Lösung erhält man Kristalle von der Formel ($CaCl_2 + 6\,H_2O$), welche an der Luft Feuchtigkeit anziehen und zerfliefsen. Erhitzt man die Kristalle, so bekommt man eine poröse Masse von der Formel $CaCl_2 + 2\,H_2O$, die noch stärker hygroskopisch ist und deshalb als Trockenmittel für Gase und Flüssig-

keiten häufig verwendet wird. Läſst man Chlor auf gelöschten Kalk einwirken, so erhält man Chlorkalk, dessen Verwendung als Bleich- und Desinfektionsmittel schon beim Chlor erwähnt worden ist. Auch im Tier- und Pflanzenreich findet sich Kalk; im Tierreich als kohlensaurer Kalk in Muschel- und Eierschalen, als phosphorsaurer Kalk in den Knochen der Wirbeltiere; in den Pflanzen finden sich häufig in den Zellen Kristalle von oxalsaurem Kalk. — Das Calcium ist ein silberweiſses Metall, das durch Elektrolyse des Chlorcalciums hergestellt werden kann. In trockner Luft ist es beständig, doch hat es bis jetzt keine praktische Verwendung gefunden.

Zwei dem Calcium nahestehende Metalle sind das **Baryum** und das **Strontium.** Baryum kommt in der Natur vor im schwefelsauren Baryt oder Schwerspat; derselbe wird unter dem Namen blanc fixe zum Tapetendruck und in der Papierfabrikation als Füllmasse verwendet. Das Chlorbaryum dient als Reagens auf Schwefelsäure, da es mit derselben in Säuren unlöslichen schwefelsauren Baryt bildet ($BaCl_2 + H_2SO_4 = 2\,HCl + BaSO_4$). Die Verwendung des Baryumoxyds zur Sauerstoffdarstellung ist schon beim Sauerstoff erwähnt worden.

Die Chlorverbindungen und salpetersauren Salze des Baryums färben die Flamme grün, die des Strontiums rot; deshalb stellt man aus diesen Salzen Buntfeuer dar. Die Schwefelverbindungen von Calcium, Baryum und Strontium haben nach Zusatz anderer Stoffe die Eigenschaft, wenn sie vorher stark belichtet worden sind, nach mehreren Stunden im Dunkeln nachzuleuchten (zu phosphoreszieren); deshalb verwendet man sie zu Leuchtfarben, mit denen Gegenstände bestrichen werden, die in der Nacht gesehen werden sollen.

4. **Magnesium** ($Mg = 24$). Die Verbindung des Magnesiums mit Sauerstoff, die ebensowenig wie Magnesium selbst in der Natur vorkommt, heiſst Magnesia (Bittererde oder Talkerde, MgO). Aus kohlensaurer Magnesia und kohlensaurem Kalk besteht der in mächtigen Schichten auftretende Dolomit; kieselsaure Magnesia ist ein Bestandteil des Serpentins und des Talks; schwefelsaure Magnesia und Magnesiumchlorid finden sich in einigen Quellen und im Meerwasser, also auch in den Staſsfurter Abraumsalzen. Magnesium (Sp. G. = 1,75) ist ein weiſses Metall, welches sich zu Draht und Blech verarbeiten läſst; angezündet, brennt es mit blendendem Glanz und wird deshalb zur künstlichen Beleuchtung beim Photographieren angewandt (Blitzlicht). Beim Verbrennen des Magnesiums bildet sich Magnesia als ein feines, weiſses Pulver. Kohlensaure Magnesia (weiſse Magnesia), schwefelsaure Magnesia (Bittersalz $MgSO_4 + 7\,H_2O$) und Magnesiumoxyd (Magnesia usta) dienen als Heilmittel.

5. **Aluminium** ($Al = 27$). Das Aluminium ist das in der Natur verbreitetste Metall, doch kommt es nicht in reinem Zustande, sondern nur in Verbindungen vor. Wöhler stellte es im Jahre 1827 durch Einwirkung von Natriumdämpfen auf Aluminiumchlorid dar; heute erhält man es durch Einwirkung des elektrischen Flammenbogens auf Tonerde (§ 33, Fig. 61) (Aluminiumoxyd $= Al_2O_3$). Aluminium ist fast silberweiſs, überzieht sich aber an der Luft mit einer dünnen Oxydschicht, welche das darunter liegende Metall vor weiteren Einwirkungen durch die atmosphärische Luft schützt. Wegen seiner Härte, seiner Festigkeit und vor allem wegen seines niedrigen spezifischen Gewichts (2,65) wird das Aluminium zu allerlei Gerätschaften verarbeitet, zumal sein Preis von 1000 Mark pro Kilo im Jahre 1855 auf 2 Mark im Jahre 1900 zurückgegangen ist. Daher hat sich die Aluminiumproduktion von Jahr zu Jahr gesteigert. Ein groſser Teil des Aluminiums wandert in die Eisen- und Kupfergieſsereien, da durch auch nur geringe Mengen von Aluminium ein gleichmäſsiger und blasenfreier Guſs erzeugt wird. Das Aluminium verbindet sich nämlich bei hoher Temperatur mit dem Sauerstoff des sonst im Guſs auftretenden Kohlenoxyds, welches Blasen verursacht, zu Aluminiumoxyd, und letzteres steigt,

wegen seiner Leichtigkeit, an die Höhe des gegossenen Metalls. Auch sonst findet das Aluminium zur Reduktion von Metallen, wie Mangan und Chrom, Verwendung (Goldschmidtsches Verfahren). Besonders wertvoll sind auch verschiedene Aluminiumlegierungen, so die mit Kupfer (Aluminiumbronze), mit Messing (Aluminiummessing) und mit Magnesium (Magnalium).

Aluminiumoxyd (Alaunerde oder Tonerde, Al_2O_3) kommt kristallisiert vor als Korund, mit Chrom gefärbt als Rubin (der wegen seiner Härte im Zapfenlager der Taschenuhren Verwendung findet) und mit Kobalt gefärbt als Saphir, etwas unrein als Smirgel, der wegen seiner Härte als Poliermittel benutzt wird; nächst dem Diamant ist die kristallisierte Tonerde der härteste Naturkörper. Eine Verbindung von schwefelsaurer Tonerde mit schwefelsaurem Kali (oder Natron oder Ammonium) ist der Alaun, der aus Alaunschiefer gewonnen wird, kristallisiert und in der Färberei als Beize dient, um die Farbstoffe an die Fasern des Zeugs zu binden. Kieselsaure Tonerde entsteht durch Verwittern von Feldspat (kieselsaure Tonerde und kieselsaures Kalium oder Natrium) oder feldspathaltiger Gesteine; in Lehm und Ton ist dieselbe mit kohlensaurem Kalk, Sand und Eisenoxyden gemischt; schon vor etwa 10 000 Jahren verstand man es, Lehm und Ton durch Glühen zu Ziegeln und Gefäſsen zu verarbeiten; im reinen Zustande bildet die kieselsaure Tonerde die Porzellanerde oder Kaolin. Ton saugt Wasser und Fette ein (Entfernen von Fettflecken); er wird deshalb zu allerlei Geräten verarbeitet, die beim Brennen das Wasser abgeben und hart werden. Um ihnen eine gröſsere Haltbarkeit zu verleihen, werden sie mit einer Schmelze überzogen. Da der Ton die Eigenschaft hat, Gase und Wasser zu absorbieren, so ist seine Anwesenheit in der Ackererde von der gröſsten Bedeutung, weil dadurch die für die Pflanzen notwendigen Kaliumsalze, sowie Ammoniak, Kohlensäure und Wasser im Boden festgehalten werden. Gröſstenteils aus Tonerde und Kieselsäure besteht der Lasurstein, der pulverisiert Ultramarin, eine schöne blaue Farbe, liefert; jetzt wird Ultramarin künstlich hergestellt und zum Blauen der Wäsche, sowie als Anstrichfarbe benutzt.

Kalium, Natrium, Calcium, Baryum, Strontium, Magnesium und Aluminium sind leichte Metalle. Ihr spezifisches Gewicht ist kleiner als fünf. Kein leichtes Metall kommt in der Natur gediegen vor.

(Ziemlich selten sind die Metalle Cerium, Didym, Lanthan, Yttrium, Zirkonium und Thorium. Sie sind deshalb wichtig, weil ihre Oxyde im glühenden Zustande ein besonders helles Licht ausstrahlen und zur Herstellung der Auerschen Gasglühstrümpfe (§ 132) und des Leuchtkörpers der Nernstschen Glühlampe (§ 33) Verwendung finden.)

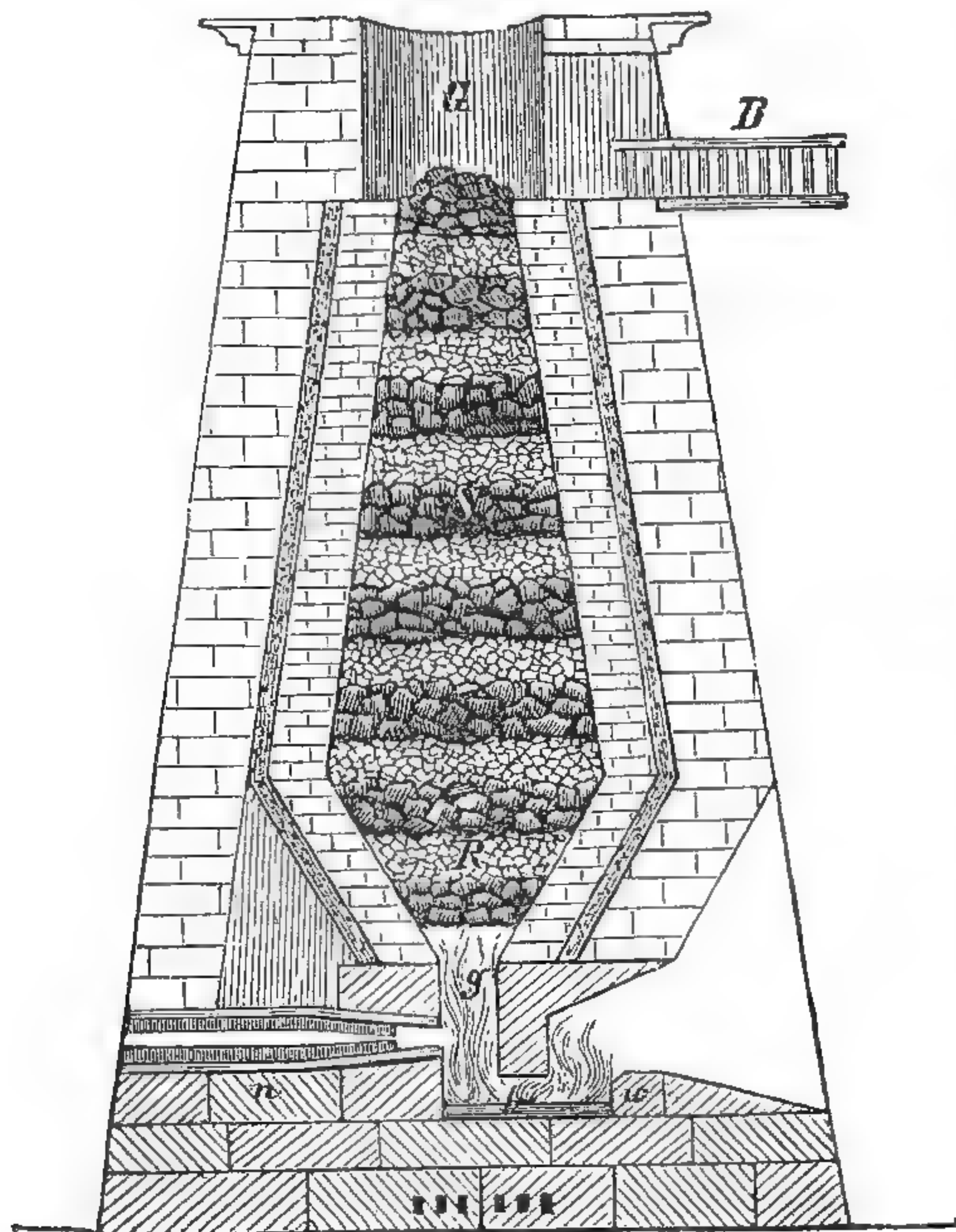
§ 212. Die schweren Metalle.

1. **Eisen** (Fe, Ferrum = 56). Eisen findet sich nur in kleinen Mengen in den Eisenmeteoriten gediegen; in den Eisenerzen ist es mit Sauerstoff und Schwefel verbunden; auch in den Pflanzen und den Körpern der Tiere macht es einen kleinen, aber notwendigen Bestandteil aus. Ohne Eisen kann sich kein Blattgrün und kein rotes Blutkörperchen bilden. Der Bedarf des menschlichen Körpers an Eisen übersteigt täglich nicht 15 Milligramm. Verhältnismäſsig eisenhaltige Nahrungsmittel sind Äpfel, Rindfleisch, Spinat, Weizen, Erbsen und besonders Eigelb.

Das Eisen wird aus dem Magneteisenstein (Fe_3O_4) (§ 1, § 7,2), dem Roteisenstein (Fe_2O_3), dem Brauneisenstein (FeO_2H) und dem Spateisenstein ($FeCO_3$), durch Rösten und den Hochofenprozeſs gewonnen. Beim Rösten werden abwechselnd Lagen von Holz und Erz in Haufen aufeinandergeschüttet und das Holz angezündet. Durch das Rösten werden Wasser, Kohlendioxyd und Schwefel, welche die meisten

Eisenerze enthalten, entfernt und die Erze gelockert. Nachdem die Erze *gattiert*, d. h. arme Erze unter reichere gemengt worden sind, werden sie dem Hochofenprozesse unterworfen. Die Höhe eines Ofens beträgt etwa 25 m, sein Rauminhalt ungefähr 400 cbm (Fig 404). Weil die Erze mit erdigen oder steinigen Massen, der *Bergart*, durchdrungen sind und diese für sich unschmelzbar ist, setzt man solche Stoffe zu, mit denen die Bergart eine schmelzbare Verbindung bildet. Dieser *Zuschlag* ist bei quarziger Bergart Kalk und bei kalkartiger Quarz, so daſs in jedem Falle kieselsaurer Kalk entsteht. Kohle (30 % aller Steinkohlen werden in der Eisenindustrie verbraucht), Erz und Zuschlag werden oben von der Gicht (*G*) aus in den Ofen eingetragen; durch die Bildung von Kohlenoxyd werden die Erze reduziert ($Fe_3O_4 + 4\,C = 3\,Fe + 4\,CO$), Bergart und Zuschlag verbinden sich zur Schlacke, dem kieselsauren Kalk, die beim Abflieſsen das flüssige Guſseisen bedeckt und vor der Einwirkung der atmosphärischen Luft schützt; das Eisen mischt sich mit Kohlenstoff zu *Guſseisen* oder *Roheisen* und wird geschmolzen durch eine Fuge des Wallsteins (*w*) abgelassen. Früher lieſs man die noch nicht völlig verbrannten Gichtgase bei *G* (Fig. 404) unausgenützt in die Luft entweichen; jetzt leitet man sie von der Gicht aus nach einem „Winderhitzer", in dem sie verbrennen, und an den sie ihre bedeutende Wärmeenergie abgeben. Durch den so erwärmten Winderhitzer läſst man dann die für den Hochofenprozeſs notwendige Luft streichen, die dann schon mit einer Temperatur von etwa 800° in den Hochofen eintritt. Alles Eisen, das verarbeitet wird, enthält Kohlenstoff, und zwar enthält in 100 Teilen *Guſseisen* 2 bis 5, *Stahl* ½ bis 2, *Schmiede- oder Stabeisen* weniger als ½ Teil Kohlenstoff. Auſserdem findet sich in den verschiedenen Eisensorten noch *Silicium*, *Mangan*, *Phosphor* und *Schwefel*, doch darf nicht zu viel von diesen Elementen vorhanden sein. *Chemisch reines Eisen* eignet sich aber ebenfalls nicht zu Gebrauchsgegenständen, weil es zu weich und zu wenig fest ist. Das Schmiedeeisen wird aus dem Guſseisen hergestellt, indem dieses bei freiem Luftzutritt erhitzt und mit eisernen Stangen durchgearbeitet wird, wobei der gröſste Teil des Kohlenstoffs verbrennt. Stahl kann man aus Schmiedeeisen durch Hinzufügen von Kohlenstoff, aber auch aus Guſseisen herstellen. Guſsstahl wurde schon 1770 in England und 1812 in Deutschland von *Friedrich Krupp in Essen* hergestellt; aber erst unter seinem Sohne *Alfred Krupp* entwickelte sich die Guſseisenindustrie zu auſserordentlicher Blüte, so daſs jetzt in den Kruppschen Werken mehr als 40 000 Arbeiter und Beamte tätig sind. Überhaupt hat sich die Eisenindustrie in der letzten Hälfte des 19. Jahrhunderts so stark entwickelt, daſs jetzt etwa viermal so viel Eisen hergestellt wird als vor vierzig Jahren. — Schmiede- oder Stabeisen läſst sich *schmieden* oder in der Rotglühhitze mittels des

Fig. 404.



Hammers formen, und es läfst sich schweifsen, wobei zwei glühende Eisenstücke durch Hammerschläge aneinander befestigt werden; es läfst sich ferner zu Draht ausziehen. Eisen wird vom Magneten angezogen; Stahl läfst sich dauernd magnetisch machen. Um Eisen gegen Rost zu schützen, wird es mit Ölfarbe angestrichen. Vorteilhafter ist es aber, das Eisen zu verzinken; das Verzinnen ist deshalb nicht so gut, weil verzinntes Eisen dann, wenn der Zinnüberzug sich ablöst, um so eher rostet. Unter den Verbindungen des Eisens kommt Eisenoxyd (Fe_2O_3), ein rotbraunes Pulver, unter dem Namen „Englisch Rot" im Handel vor und findet als Schleif- und Poliermittel Verwendung. Schwefelsaures Eisenoxydul (Eisenvitriol oder grüner Vitriol, $FeSO_4 + 7\ H_2O$) wird durch Auflösen von Eisen in verdünnter Schwefelsäure erhalten; bildet hellgrüne Kristalle und wird in der Färberei zur Herstellung der Eisengallustinte und als Desinfektionsmittel benutzt.

2. **Nickel** (Niccolum = 58,7) und 3. **Kobalt** (Cobaltum = 59) kommen im elementaren Zustande mit dem Eisen in Meteorsteinen vor. Ihre Namen haben sie daher erhalten, weil in früheren Jahrhunderten die Bergleute aus den Nickel- und Kobalterzen kein Metall herzustellen vermochten und sich daher von Nickeln und Kobolden genarrt glaubten. Das Nickel wird erst seit der Einführung der Nickelmünzen (75 Teile Kupfer, 25 Teile Nickel) in grofsen Mengen hergestellt. Auch zur Vernickelung von Eisen sowie zu verschiedenen Nickellegierungen, wie zu Neusilber und dem schwer leitenden Nickelindraht, wird viel Nickel verbraucht. Weniger verwendet wird das seltenere Kobalt. Die Anwendung des Chlorkobalts zu sympathetischer Tinte, zu Wetterbildern und Hygroskopen wurde schon S. 250 erwähnt.

4. **Mangan** (Mn = 55). Fast in allen Eisenerzen kommt Mangan vor. Es findet, wie viele andere Metalle, selbst keine Verwendung, wohl aber in seinen Legierungen und seinen Salzen. Die wichtigsten Manganeisenlegierungen sind weifses Spiegeleisen und Ferromangan. Das bekannteste Manganerz ist der Braunstein (Mangandioxyd = MnO_2). Es wird zur Herstellung von Sauerstoff, von Chlor zum Entfärben von Glas und zur Darstellung von galvanischen Elementen verwendet. Die letzten beiden Anwendungen beruhen darauf, dafs das Mangandioxyd leicht Sauerstoff abgibt.

Von den Mangansalzen wird am meisten angewendet die stark verdünnte Lösung von übermangansaurem Kali als Mundwasser und um etwas faulig gewordenes Fleisch wieder geniefsbar zu machen. Auch die Wirkung dieses Salzes beruht auf der Sauerstoffabgabe.

5. **Chrom** (Chromium, Cr = 52,1). Das Chrom hat seinen Namen von chroma (Farbe), weil seine Verbindungen meist eine schöne Farbe haben, wie das Chromblei: gelb; Chromzinnober: rot. Das Chrom hat eine aufserordentliche Härte und einen sehr hohen Schmelzpunkt; es wird am leichtesten aus Chromoxyd durch Reduktion mit Aluminiumpulver hergestellt. Es ist ein silberglänzendes, an der Luft beständiges Metall, welches besonders in der Eisenindustrie Verwendung findet. Das bekannteste Chromerz ist der Chromeisenstein, aus dem chromsaures Kali und dichromsaures Kali (rotes chromsaures Kali) gewonnen werden.

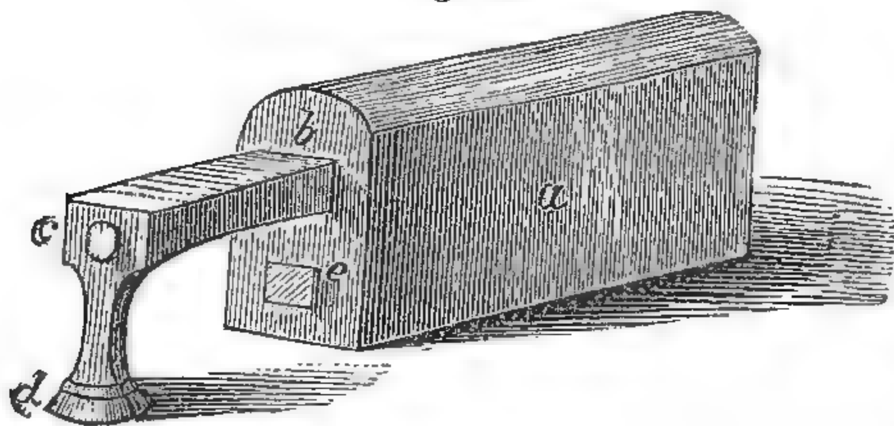
Dem Chrom nahe verwandt sind die Metalle Molybdän, Wolfram und Uran. Die beiden ersten werden ebenfalls wie Chrom in der Eisenindustrie verwendet. Uran ist dadurch ausgezeichnet, dafs von ihm und seinen Verbindungen Strahlen ausgehen (Becquerelstrahlen, 1896), die im allgemeinen vom menschlichen Auge nicht wahrgenommen werden, die aber auf den lebendigen Organismus und auf photographische Platten ähnlich wie die Röntgenstrahlen (§ 46, 3 a) wirken und, wie diese, gewisse chemische Präparate leuchtend machen. Da man annimmt, dafs diese Strahlen von einem noch unbekannten Elemente, dem Radium, herrühren, so bezeichnet man die betreffenden Uranverbindungnn als radioaktiv.

Trotz der ununterbrochenen Wirksamkeit der Radiumpräparate ist es nicht gelungen, an denselben eine chemische Veränderung oder einen Gewichtsverlust nachzuweisen.

6. **Blei** (Plumbum, Pb = 207). Das Blei wird aus Bleiglanz (Schwefelblei) dargestellt, ist grau, weich, abfärbend und von geringer Festigkeit. Angewandt wird es zu den Bleikammern der Schwefelsäurefabriken, zu Röhren, Kugeln, Schrot und in neuerer Zeit zu Akkumulatoren. Dieselben bestehen aus Blei- und Bleisuperoxydplatten, die in verdünnter Schwefelsäure stehen und einen starken elektrischen Strom geben; ist durch den Gebrauch die elektrische Spannung heruntergegangen, so kann dieselbe durch Laden von neuem auf die frühere Höhe gebracht werden (§ 36). Blei wird in verschiedenen Legierungen verwendet, von denen die mit Antimon zu Letternmetall schon früher erwähnt worden ist. Von seinen Verbindungen wird Bleioxyd für die Glasur des Töpfergeschirrs angewandt; einen zu grofsen, für die Gesundheit schädlichen Gehalt an Blei in Töpfen kann man dadurch nachweisen, dafs man etwa eine Stunde in solchen Töpfen starken Essig kocht; ist dann in der Lösung Blei enthalten, so zeigt sich dies dadurch, dafs Schwefelwasserstoff (oder Schwefelwasserstoffwasser) einen schwarzen Niederschlag von Schwefelblei gibt. In derselben Weise läfst sich Blei in Wasserleitungswasser nachweisen. Wiewohl die Bleisalze sehr giftig sind und Bleikolik (Darmkrämpfe) hervorrufen, so läfst sich doch Blei meist ohne Gefahr für die Gesundheit zu Wasserleitungsröhren verarbeiten. Da nämlich im Quellwasser meist schwefelsaure Salze (Gips) gelöst sind, so bildet das schwefelsaure Blei an den Innenwänden der Röhre eine Kruste, die selbst im Wasser unlöslich ist und das Blei vor weiteren Zerstörungen schützt. Unter dem Zutritt der Luft stark erhitzt und reicher an Sauerstoff werdend, verwandelt sich das Bleioxyd in Mennige (Pb_3O_4), eine vielgebrauchte rote Farbe (§ 36,2). Kohlensaures Blei, eine weifse Anstrichfarbe, kommt im Handel unter dem Namen Bleiweifs vor. Essigsaures Blei (Bleizucker) wird äufserlich gegen Entzündungen verwendet. Hängt man in eine Bleizuckerlösung ein Stück Zink, so scheidet sich Blei als Bleibaum (Sarturnusbaum) ab, und Zink geht als essigsaures Zink in Lösung.

7. **Zink** (Zincum = 65). Das Zink wird aus Zinkblende (Schwefelzink) und Galmei (kohlensaures Zinkoxyd) gewonnen; das geröstete Erz wird in tönernen Muffeln (Fig. 405) durch Glühen mit Kohlen reduziert; die Zinkdämpfe werden in dem kälteren Rohre *b*, *c*, *d* der Muffel tropfbarflüssig, und das Zink tröpfelt aus ihm in die untergestellten Gefäfse. Bei einer Wärme über 100° ist Zink geschmeidig und dehnbar und kann dann zu Blech ausgewalzt werden. An feuchter Luft überzieht sich die Oberfläche mit einer weifsen Schicht von kohlensaurem Zink, welche das Metall gegen weitere Einwirkung der Luft schützt. Zinkoxyd (ZnO) wird dargestellt, indem man in das verdampfte Zink erhitzte Luft leitet; es wird unter dem Namen Zinkweifs als Anstrichfarbe benutzt, die beständig ist im Gegensatz zu Bleiweifs, welches durch den Schwefelwasserstoff der Luft gelb und später schwarz wird durch das gebildete Schwefelblei. Zinkoxyd und Zinkvitriol (schwefelsaures Zink = $ZnSO_4 + 7 H_2O$) werden in der Heilkunde gebraucht. Zinkchloridlösung wird als Lötmasse verwendet, weil es die zu lötenden Metallstellen oxydfrei hält, und zum Imprägnieren von Eisenbahnschwellen, um dieselben vor der Fäulnis zu schützen. Alle Zinkverbindungen sind giftig. Das metallische Zink wird zu verschiedenen Gebrauchsgegenständen verarbeitet, ferner

Fig. 405.



wird es zum Verzinken des Eisens verwendet, und endlich bildet es immer den Bestandteil eines galvanischen Elements, auf dessen Kosten der galvanische Strom erhalten wird. In den meisten Zinkerzen findet sich das dem Zink ähnliche, aber flüchtigere Kadmium, dessen Amalgam (Quecksilberlegierung) zum Plombieren von hohlen Zähnen Verwendung findet.

8. **Kupfer** (Cuprum, $Cu = 63,5$). Das Kupfer ist schon seit etwa 4000 v. Chr. bekannt; um 1500 v. Chr. wurden reiche Kupferlager auf Cypern, das dem Metall seinen Namen gegeben hat, entdeckt. Gediegen kommt das Kupfer in grofsen Mengen in Nordamerika und in Sibirien vor. Es wird aufserdem gewonnen aus dem Zementwasser (Kupfervitriol enthaltendes Grubenwasser), indem man Eisen hineinlegt; aus Eisen und Kupfervitriol entsteht dann Kupfer und Eisenvitriol; ferner gewinnt man es aus Rotkupfererz (Cu_2O), Malachit und Kupferlasur, beide im wesentlichen aus kohlensaurem Kupfer bestehend, und aus Kupferkies ($Cu_2S + Fe_2S_3$). Das Kupfer ist das einzige Metall von roter Farbe. Es hat ein spezifisches Gewicht von 8,9, ist ein guter Elektrizitäts- und Wärmeleiter. An feuchter Luft bedeckt sich das Kupfer nach und nach mit einer Schicht von kohlensaurem Kupfer (Edelrost, Patina); es besitzt grofse Biegsamkeit und Zähigkeit, läfst sich zu dünnem Blech auswalzen und zu feinem Draht ausziehen. Aus Kupfer werden Münzen (die Reichskupfermünzen bestehen aus 95 % Kupfer, 4 % Zinn und 1 % Zink), Kupferstichtafeln und Gefäfse gefertigt; Speisen dürfen in kupfernen Gefäfsen nicht aufbewahrt werden, weil sich beim Sauerwerden derselben Grünspan (essigsaures Kupfer) bildet.

Legierungen von Kupfer und Zink sind Messing, Tombak (zinkärmer) und unechtes Blattgold; Legierungen von Kupfer und Zinn sind das Glocken- und das früher benutzte Kanonenmetall; Cuivre poli ist zinnhaltiges Messing; Neusilber ist eine Legierung von Kupfer, Zink und Nickel, die daraus gefertigten Gerätschaften werden häufig galvanisch versilbert (Alfenide).

Das wichtigste Kupfersalz, das Kupfervitriol ($CuSO_4 + 5\,H_2O$), hat eine blaue Farbe; es kommt in der Natur vor und wird in reinem Zustande durch Einwirkung von Luft und Schwefelsäure auf Kupfer gewonnen. — Grünspan dient selbst als Farbe und zur Herstellung anderer Farben, z. B. des sehr giftigen, essigarsenigsauren Kupferoxyds (Schweinfurter Grün).

9. **Quecksilber** (Hydrargyrum, $Hg = 200$). Das Quecksilber kommt in der Natur gediegen, häufiger in Verbindung mit Schwefel als Zinnober vor; hauptsächlich wird es in Almaden in Spanien, in Idria in Krain und in Kalifornien gefunden. Dargestellt wird das Quecksilber entweder durch Rösten des Zinnobers ($HgS + 2\,O = Hg + SO_2$), wobei Schwefeldioxyd und Quecksilber entsteht, oder durch Destillieren mit Eisen (oder Kalk), wobei neben Quecksilber Schwefeleisen erhalten wird ($HgS + Fe = FeS + Hg$); das Quecksilber wird bei der Darstellung in Dampf verwandelt und dann in geeigneten Kammern tropfbarflüssig; es ist silberweifs und glänzend, das einzige bei gewöhnlicher Temperatur flüssige Metall; bei -40^{0} C. wird es fest, bei $+360^{0}$ C. siedet es, verdampft aber auch bei jedem anderen Wärmegrad; es ist in reinem Zustande und in seinen Verbindungen giftig. Mit fast allen Metallen, aufser mit Eisen, bildet es durch blofses Berühren Legierungen, welche Amalgame heifsen. Zinnamalgam dient zum Belegen der Spiegel, Gold- und Silberamalgam zur Vergoldung und Versilberung, wobei das Quecksilber nachher durch Feuer ausgetrieben wird (Feuervergoldung). Auch zum Gewinnen von Gold und Silber aus ihren Erzen wird Quecksilber verwendet (Amalgamationsverfahren); beim Arbeiten mit Quecksilber hat man sich daher der goldenen Ringe zu entledigen, da dieselben von anhaftendem Quecksilber weifs werden; Quecksilber, Zinn und Zink bilden das Kienmayersche Amalgam für die Reibzeuge der Elektrisiermaschinen. Reines

Quecksilber dient zur Füllung der Barometer- und Thermometerröhren. Zinnober (HgS) findet beim Malen und beim Färben des Siegellacks Verwendung; verschiedene Verbindungen des Quecksilbers, so die mit Chlor, Quecksilberchlorür (Kalomel, $HgCl$) und Quecksilberchlorid (Sublimat) werden zu Heilzwecken gebraucht. Kalomel wird gegen Darmkrankheiten angewendet. Das sehr giftige Sublimat braucht man zum Desinfizieren von Wohnungen, zum Sterilisieren von Wunden und chirurgischen Instrumenten und zum Imprägnieren von Eisenbahnschwellen und Telegraphenstangen.

10. **Silber** (Argentum, Ag = 108). Das Silber findet sich teils gediegen in Sachsen, Sibirien, besonders aber in verschiedenen Ländern Amerikas, teils mit Schwefel und anderen Elementen verbunden, in vielen Erzen, wie Glaserz (Ag_2S) und Rotgültigerz (Silber, verbunden mit Schwefel, Arsen und Antimon). Es ist weifs, hat unter allen Metallen den stärksten Glanz und ist der beste Elektrizitäts- und Wärmeleiter; sein spezifisches Gewicht ist 10,5.

Bis zum Jahre 1870 hatten 15,5 kg Silber so viel Wert wie 1 kg Gold. Seit dieser Zeit hat nur Gold einen unveränderlichen Wert (1 kg kostet 2790 Mk.); 1 kg Silber hat einen veränderlichen Wert, jetzt (zur Zeit der Goldwährung) hat es einen Wert von etwa 80 Mk., während früher (zur Zeit der Doppelwährung) 1 kg Silber 180 Mk. kostete.

Weil Silber sehr weich ist, wird es mit Kupfer legiert verarbeitet. Den Silbergehalt einer Legierung drückt man nach Tausendsteln aus; die Reichssilbermünzen haben einen Feingehalt von 900 Tausendsteln, 1/10 derselben besteht aus Kupfer; den Silberwaren ist die Zahl, welche den Silbergehalt angibt, aufgestempelt.

Unter den Silberverbindungen wird Höllenstein (Silbernitrat = NO_3Ag) in der Medizin zum Ätzen verwendet. Auch kann man Höllensteinlösung zum Zeichnen der Wäsche benutzen. Man bestreicht die Wäsche zunächst mit einer mit starkem Gummi versetzten Sodalösung; nachdem man die betreffende Stelle getrocknet und geglättet hat, schreibt man mit der ebenfalls mit Gummi versetzten Höllensteinlösung auf die Wäsche; durch das Sonnenlicht wird dann das schwarze Silber auf der Wäsche ausgeschieden. Chlorsilber ($AgCl$), Bromsilber ($AgBr$) und Jodsilber (AgJ) werden auch durch das Licht zersetzt und daher beim Photographieren (§ 154,2) gebraucht.

Um mit Chlorsilber, das man durch Hinzufügen von Höllensteinlösung zu Kochsalzlösung erhält ($NaCl + AgNO_3 = AgCl + NaNO_3$), zu versilbern, reibt man ein mit Wasser angefeuchtetes Gemenge von drei Teilen Chlorsilber, drei Teilen Kochsalz, zwei Teilen Kreide und sechs Teilen Pottasche mit einem Korke auf einer metallischen, blanken Oberfläche so lange, bis die Silberfarbe zum Vorschein kommt. Eisen mufs vorher erst verkupfert werden (durch Eintauchen in Kupfervitriollösung).

11. **Zinn** (Stannum, Sn = 118). Das Zinn wurde schon von den Phöniziern aus England nach den Mittelmeerländern eingeführt. Es wird hergestellt aus Zinnstein (Zinnoxyd = SnO_2), das in Cornwallis, Malakka, Borneo und Mexiko vorkommt; es ist weich und läfst sich zu papierdünnen Blättern (Stanniol) auswalzen. Beim Biegen knirscht ein Zinnstab (Zinngeschrei); das kommt von dem kristallinischen Gefüge desselben her. Angewandt wird es zum Verzinnen von Eisen und Kupfer und zu Legierungen; eine Legierung aus Zinn und Blei bildet das Schnellot der Klempner; eine Legierung aus Zinn, Blei und Wismut bildet das Rosesche Metall; das noch leichter schmelzbare Woodsche Metall enthält aufserdem noch Kadmium (§ 173,2).

12. **Gold** (Aurum, Au = 197). Das Gold findet sich meistens gediegen, entweder an primärer Lagerstätte als Berggold in quarzhaltigem Gesteine (Ungarn, Siebenbürgen, Kalifornien, Australien, Transvaal) oder im Sand der Flüsse (1897

wurde der Klondyke-River in Alaska als sehr goldreich entdeckt). Das spezifische Gewicht des Goldes ist 19,3; es ist das dehnbarste aller Metalle und weicher als Silber. Es läfst sich zu einer 0,00014 mm dünnen Folie verarbeiten und zu so feinem Draht, dafs 2000 m auf 1 g gehen. Wegen seiner geringen Härte wird es stets mit Silber oder Kupfer legiert. Den Goldgehalt der Legierung gibt man in Tausendsteln an; die Reichsgoldmünzen enthalten auf 900 Teile Gold 100 Teile Kupfer; für Schmucksachen gibt man vielfach noch den Feingehalt in Karat an. 15 karätiges Gold enthält auf 24 Teile Legierung 15 Teile Feingold. Gold löst sich in Königswasser auf und bildet mit ihm schliefslich Goldchlorid ($AuCl_3$), welches in der Photographie und in der Glas- und Porzellanmalerei angewendet wird. Gold gibt auf einen Probierstein (aus Kieselschiefer oder Basalt) einen Strich, der, mit Salpetersäure vom spezifischen Gewicht 1,36 betupft, nicht oder nur zum Teil verschwindet.

13. **Platin** (Pt = 195). Dieses Metall wurde um die Mitte des 18. Jahrhunderts im Sande südamerikanischer Flüsse entdeckt und wegen seines Aussehens Platin (Plata = Silber [span.]) genannt; es kommt nur gediegen vor, in Begleitung anderer Metalle (Iridium, Osmium, Palladium, Rhodium und Ruthenium), im Sande einiger Flüsse Südamerikas, am Ural und auf Borneo. Sein spezifisches Gewicht ist 21,5; noch schwerer sind Iridium (verwendet zu Federspitzen von Goldfedern) und Osmium (§ 33). Das Platin ist zinnweifs, sehr geschmeidig und läfst sich schweifsen, bei etwa 1800° schmelzen und giefsen. Nur vom Königswasser wird es aufgelöst. Aus Platin werden Schalen, Tiegel, Bleche usw. gearbeitet, die in chemischen Laboratorien Verwendung finden; in der Elektrotechnik wird es viel gebraucht, da es sich vorzüglich zu Elektrodenmaterial eignet; nur mit Hilfe von in das Glas eingeschmolzenen Platindrähten lassen sich in die luftleeren Glasbirnen die Glühfäden anbringen, da sich Glas herstellen läfst, das denselben Ausdehnungskoeffizienten wie Platin hat.

Platin in feinverteiltem Zustand wird als Platinmohr oder Platinschwamm bezeichnet; es hat in hohem Grade die Eigenschaft, Gase auf sich zu verdichten und dieselben zum Entzünden zu bringen, und wird deshalb beim Döbereinschen Feuerzeug (hier wird Wasserstoffgas durch Platinschwamm absorbiert und zum Entzünden gebracht), zu Gasselbstentzündern und zu Platin-Räucherlampen gebraucht.

Die **schweren** Metalle haben ein höheres, spezifisches Gewicht als 5; zu den schweren edlen Metallen gehört Gold, Silber, Platin; Quecksilber bezeichnet man als edel oder halbedel.

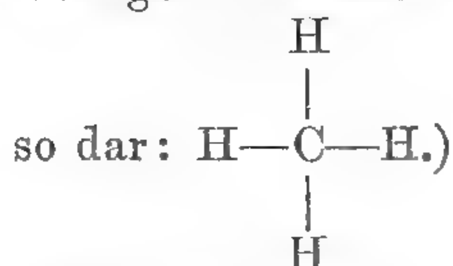
Aus der organischen Chemie.

§ 213. Kohlenwasserstoff.

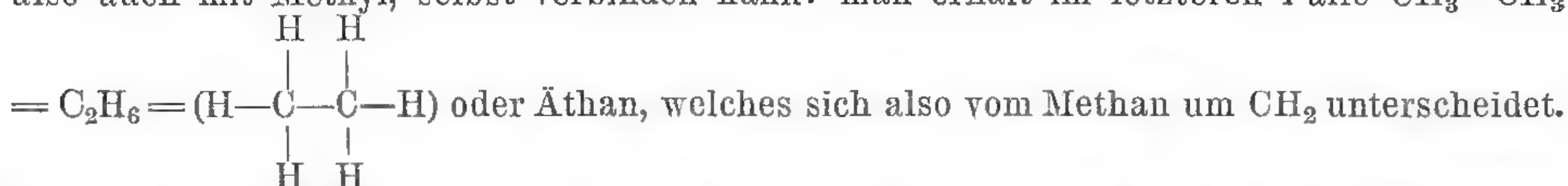
1. Bis zum Jahre 1828 nahm man an, dafs zur Bildung von organischen (im Pflanzen- und im Tierkörper entstehenden) Stoffen eine besondere Lebenskraft nötig sei. Im genannten Jahre gelang es dem Göttinger Professor Wöhler zum ersten Male, einen organischen Körper, nämlich den Harnstoff, künstlich herzustellen. Seitdem sind viele in Organismen entstehende Stoffe durch die Chemiker auf dem Wege der Synthese gewonnen worden. Damit ist eigentlich eine Einleitung der Chemie in eine anorganische und eine organische hinfällig geworden. Trotzdem hat man eine solche Zweiteilung noch aufrecht erhalten, weil die Anzahl der organischen Körper eine aufserordentlich grofse ist. Alle diese Verbindungen sind kohlenstoffhaltig; man hat deshalb auch für „organische Chemie" die Bezeichnung „Chemie der Kohlenstoffverbindungen" einzuführen gesucht; doch wird meist an der alten Bezeichnung festgehalten. Aufser Kohlenstoff enthalten die organischen

Körper meist noch Sauerstoff und Wasserstoff, vielfach auch Stickstoff, und daneben können auch noch viele andere Elemente in organischen Verbindungen auftreten.

2. Eine grofse Reihe von organischen Körpern kann man aus dem schon oben erwähnten Sumpfgas oder Methan (CH_4) ableiten; in demselben ist ja der vierwertige Kohlenstoff an vier einwertige Wasserstoffe gebunden. (Man stellt ihn auch



Nimmt man aus Methan ein H weg, so bleibt das einwertige Radikal CH_3 (Methyl) übrig, dafs sich nun wieder mit einwertigen Elementen und mit einwertigen Radikalen, also auch mit Methyl, selbst verbinden kann: man erhält im letzteren Falle $CH_3—CH_3$



Fährt man so fort, so erhält man die verschiedenen Glieder der **Methanreihe** (C_3H_8 Propan, C_4H_{10} Butan, C_5H_{12} Pentan, C_6H_{14} Hexan, C_7H_{16} Heptan, C_8H_{18} Octan, C_9H_{20} Nonan usw.). Das allgemeine Glied der Reihe ist demnach C_nH_{2n+2}; die einzelnen Glieder der Reihe unterscheiden sich also dadurch voneinander, dafs jedes folgende immer CH_2 mehr enthält als jedes vorhergehende; gleichzeitig haben die folgenden Glieder einen niedrigeren Schmelz- und Siedepunkt als die vorhergehenden. Solche Reihen kommen häufig in der organischen Chemie vor; man bezeichnet sie als homologe Reihen.

In ganz entsprechender Weise kann man aus dem schon früher erwähnten Äthylen (C_2H_4) eine homologe Reihe: die Äthylenreihe ableiten. (Aus C_2H_4 erhält man durch Ersetzung eines H durch CH_3 die Verbindungen C_3H_6 Propylen, C_4H_8 Butylen usw.)

Die Verbindungen der Methanreihe finden sich vor allem im **Petroleum** Nordamerikas. **Petroleum**, Erdöl oder Steinöl, findet sich aufser in Pennsylvanien und am Ohio in Nordamerika besonders am Kaspischen Meere, aber auch in Deutschland (Hannover und Elsafs) und anderen Staaten. Das Petroleum ist wohl meist durch Zersetzung tierischer Stoffe bei Luftabschlufs (Seetiere) entstanden.

Das rohe Petroleum wird mit Hilfe von Bohrlöchern aus der Erde gepumpt. Die Zusammensetzung desselben ist übrigens an verschiedenen Orten sehr verschieden. Durch Destillation wird das Petroleum dann in drei Hauptteile zerlegt:

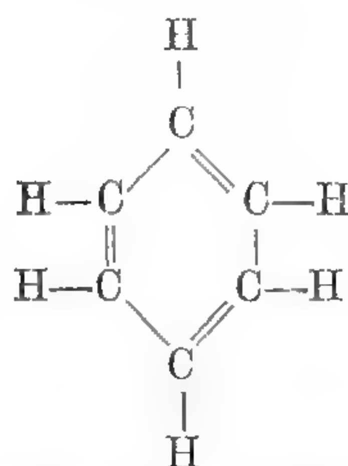
Der erste (bis 150 ° C.) enthält die am leichtesten siedenden Bestandteile: Petroleumäther, Petroleumbenzin, Ligroin. Weil die genannten Kohlenwasserstoffe leicht explosiv sind, mufs das Petroleum, bevor es als Leuchtmittel benutzt werden kann, von diesen Körpern befreit werden; diese flüchtigeren Kohlenwasserstoffe finden aber ihrerseits wieder vielfach Verwendung, in besonders konstruierten Lampen auch zur Beleuchtung.

In der zweiten Gruppe finden sich die Kohlenwasserstoffe, deren Mischung als eigentliches Petroleum Verwendung findet. (Siedepunkt 150–300 °.) Nach den gesetzlichen Bestimmungen mufs der Entflammungspunkt des Petroleums über 21 ° liegen.

Die dritte Gruppe enthält die über 300 ° siedenden Bestandteile des Petroleums, aus denen man Paraffinöl, Schmieröl und Vaseline herstellt. Solaröl und Paraffin werden durch Destillation von Braunkohlen- und Torfteer gewonnen. Paraffin, eine farblose, wachsähnliche Masse, besteht aus den höheren Kohlenwassserstoffen der Methanreihe ($C_{20}H_{42}$ bis $C_{30}H_{62}$) und wird, mit Stearin vermischt, zu Kerzen verarbeitet.

3. Lassen sich aus dem Methan eine grofse Reihe von Verbindungen durch kettenförmige Anordnung der Kohlenstoffatome ableiten, so dient für eine andere Gruppe, die **aromatische Reihe, Benzol** C_6H_6 als Ausgangspunkt.

In ihm und in den aus ihm abgeleiteten Verbindungen sind die Kohlenstoffatome ringförmig angeordnet, im Benzol nach dem Schema:



so dafs also jedes Kohlenstoffatom mit einer Wertigkeit an ein Wasserstoffatom, mit einer zweiten Wertigkeit an ein anderes Kohlenstoffatom und mit der dritten nnd vierten Wertigkeit an ein weiteres Kohlenstoffatom gebunden ist.

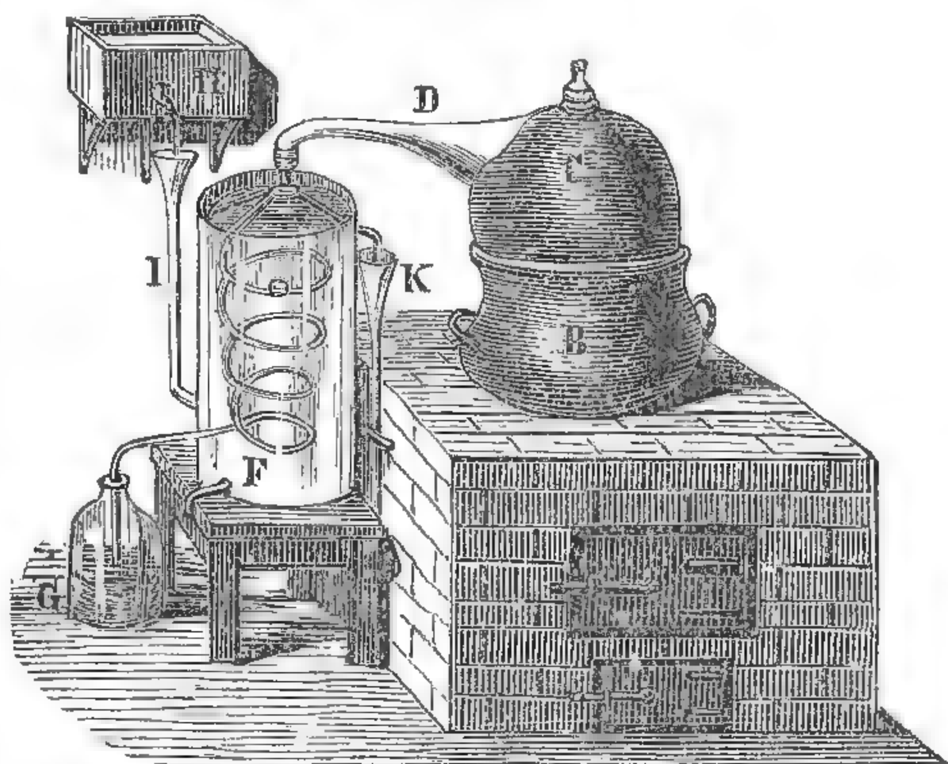
Das **Benzol** ist eine ätherisch riechende Flüssigkeit, die mit stark leuchtender, rufsender Flamme brennt und als Lösungsmittel für Harze und Fette dient. Es wird aus dem Steinkohlenteer hergestellt. Durch Kochen von Benzol mit Salpetersäure entsteht Nitrobenzol $C_6H_5NO_2$, und aus diesem erhält man durch Reduktion das Anilin $C_6H_5NH_2$, dessen Verbindungen schöne Farben geben.

§ 214. Über Alkohole und Phenole.

Ersetzt man in einem Kohlenwasserstoff der **Fettreihe** ein Wasserstoffatom durch die Gruppe OH (Hydroxyl), so erhält man einen **Alkohol**; tut man dasselbe mit einem Kohlenwasserstoff der aromatischen Reihe, so erhält man ein **Phenol.** Das bekannteste Phenol leitet sich vom Benzol C_6H_6 ab, hat also die Formel C_6H_5OH und ist unter dem Namen **Phenol** oder **Karbolsäure** bekannt. Es wird aus dem Steinkohlenteer gewonnen und als Antiseptikum (fäulniswidriges Mittel) und zur Desinfektion verwendet.

Wichtiger als die Phenole sind die Alkohole, von denen wieder dem vom Äthan (C_2H_6) abgeleiteten Äthylalkohol, der auch schlechthin als **Alkohol** bezeichnet wird, die gröfste Bedeutung zukommt.

Fig. 406.



Wird eine Flasche zum Teil mit Zuckerwasser gefüllt, demselben etwas Bierhefe zugesetzt und die Flasche an einen mäfsig warmen Ort gestellt, so trübt sich in kurzer Zeit die Flüssigkeit und gerät in Gärung, wobei sich ein Gas entwickelt. Die Gärung wird durch einen Gärungserreger (ein Ferment), die Hefe, hervorgerufen und findet unter Bildung von Hefepilzen bei mäfsiger Wärme statt. Leitet man das sich bildende Gas in ein mit Kalkwasser gefülltes Gläschen, so beweist die dadurch bewirkte Trübung des Kalkwassers, dafs das Gas nichts anderes als Kohlendioxyd ist. Hat die gärende Flüssigkeit sich wieder geklärt, so schmeckt sie nicht mehr süfs, sondern nach Branntwein oder Weingeist.

Bei der Gärung zerfällt der Zucker in Kohlendioxyd und Alkohol.

Um diesen **Äthylalkohol**, der im Handel als Weingeist oder Spiritus bezeichnet wird, im grofsen herzustellen, arbeitet man geschrotenes Getreide oder gekochte und zerquetschte Kartoffeln mit Malz und warmem Wasser längere Zeit gut durch, so dafs das Stärkemehl sich in Zucker verwandelt. Die Flüssigkeit, welche man Maische nennt, wird abgekühlt und durch Zusatz von Bierhefe in Gärung ver-

setzt; die Gärung ist in drei bis vier Tagen beendet, und die alkoholhaltige Flüssigkeit wird im Destillierapparat (Fig. 406) destilliert; mit dem Alkohol gehen noch andere Produkte, wie Glyzerin und Fuselöl, über; letzteres ist giftig und besitzt einen widerwärtigen Geschmack und Geruch, daher wird es von dem Alkohol durch Kohlenfilter getrennt. Der Äthylalkohol ist eine wasserhelle Flüssigkeit von brennendem Geschmack und angenehmem Geruch; er ist brennbar und löst viele Körper auf, die im Wasser unlöslich sind, wie Jod, Brom, Fette, Harze und Farbstoffe. Man benutzt den Alkohol zur Auflösung von Harzen bei Anfertigung von Firnissen und Lacken, zur Auflösung ätherischer Öle bei Herstellung von wohlriechenden Wässern, zur Bereitung von Tinkturen und Farben; er bildet einen wesentlichen Bestandteil der Liköre, des Weins und des Biers.

Beim Wein tritt die Gärung des Traubensaftes (Most) dadurch ein, dafs die in der Luft befindlichen Hefesporen in den Saft gelangen. Auch aus verschiedenem Obst stellt man Weine her; da aber dieser Wein wegen des zu geringen Zuckergehalts mancher Obstarten (z. B. der Johannisbeeren) zu alkoholarm werden würde, so setzt man dem erhaltenen Most noch Zucker zu, der dann ebenfalls mit in Gärung gerät. Bei der Bierbereitung wird in der aus Malz gewonnenen Flüssigkeit die Gärung durch Hefe eingeleitet. Erfolgt die Gärung bei einer Temperatur über 14^0, so ist die Entwicklung von Kohlendioxyd so heftig, dafs dasselbe die Hefe in die Höhe treibt, und man erhält so obergäriges oder einfaches Bier; bei einer Temperatur unter 10^0 scheidet sich die Hefe am Boden ab, und man erhält untergäriges Bier (Lager- oder Bayrischbier).

In früheren Zeiten wurde auch vielfach Met aus Honig bereitet. Da der Honig zu zuckerhaltig ist und deshalb nicht gärt, so wird derselbe mit Wasser verdünnt; die aus der Luft hineinfallende Hefe bewirkt dann die Gärung.

Ein anderes, sehr altes, berauschendes Getränk ist der Kumys, der in Transkaspien zu Hause ist und durch Gärung von Stutenmilch gewonnen wird.

Von anderen alkoholhaltigen Getränken seien noch erwähnt der Kognak, der aus Wein destilliert wird, der Rum, der auf den Antillen durch Gärung von Rohrzuckersirup bereitet wird (Jamaika-Rum), und der Arrak, der in Indien aus Reis erzeugt wird.

Auch beim Backen spielt sich ganz derselbe Gärungsprozefs ab. Ein Teil des Stärkemehls wird zunächst in Zucker und letzterer durch Einwirkung der Hefe in Alkohol und Kohlendioxyd verwandelt. Das entweichende Kohlendioxyd bildet dann im Teig Blasen und treibt denselben in die Höhe, bis durch die Hitze des Backofens die Hefe getötet und dadurch die weitere Gärung unmöglich gemacht wird. Ist der Teig durch verschiedene Zutaten zu schwer, dann ist das Kohlendioxyd nicht imstande, zu entweichen, und das Brot oder der Kuchen wird „schliff" gebacken.

Statt durch Hefe kann das Kohlendioxyd auch auf andere Weise erzeugt werden. Beim Backen des „Natronkuchens" geschieht dies in derselben Weise wie im Brausepulver, indem durch die Weinsäure aus dem doppeltkohlensauren Natron das Kohlendioxyd in Freiheit gesetzt wird.

Aufser dem Äthylalkohol oder dem eigentlichen Alkohol haben noch allgemeine Bedeutung der vom **Methan** abgeleitete **Methylalkohol** oder Holzgeist (CH_3OH), der einen Bestandteil des rohen Holzessigs bildet, und das **Glyzerin** oder **Ölsüfs**, ein dreifacher Alkohol ($C_3H_5[OH]_3$); er findet sich als Base der Fettsäuren in allen Fetten, bei deren Verarbeitung zu Seifen und Kerzen er als Nebenprodukt gewonnen wird; aufserdem bildet er sich, wie schon erwähnt, in geringer Menge bei der Darstellung von Alkohol, weshalb er im Wein und Bier vorkommt. Glyzerin ist eine farblose, sirupdicke Flüssigkeit von stark süfsem Geschmacke, die sich in Wasser und Alkohol löst und zum Versüfsen der Getränke, zur Her-

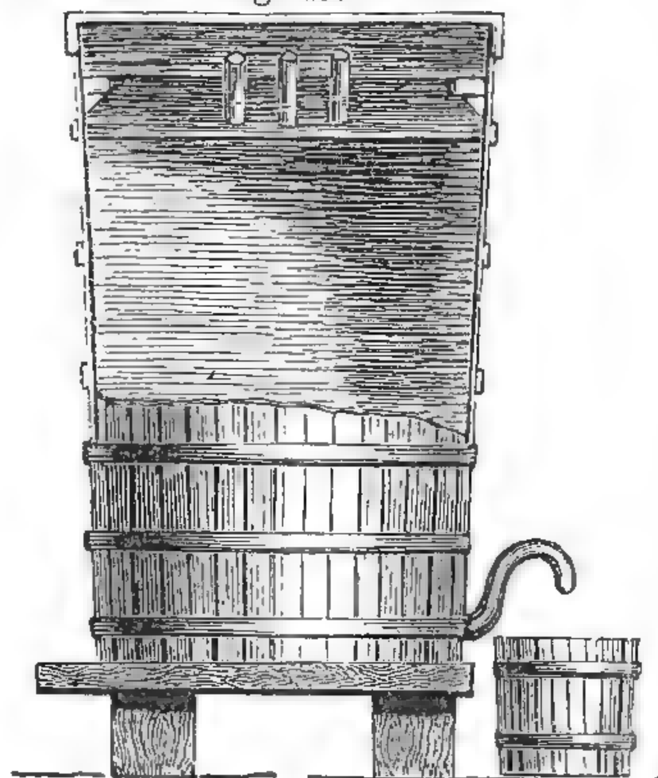
stellung von künstlichen Weinen, Seifen und als Heilmittel gegen Hautkrankheiten angewandt wird. Da seine Lösung im Wasser einen sehr niedrigen Gefrierpunkt hat, so verwendet man denselben zum Füllen von Gasuhren. Aus Glyzerin und Leim stellt man die Hektographenmasse her, aus Salpetersäure, Schwefelsäure und Glyzerin erhält man das bekannte Sprengmittel Nitroglyzerin (Glyzerinnitrat), welches, von Kieselgur aufgesaugt, das Dynamit bildet.

§ 215. Organische Säuren.

Durch die Oxydation der Alkohole entstehen zunächst die Aldehyde, z. B. entsteht aus Methylalkohol CH_3OH, Methylaldehyd $HCOH$ unter Austritt von Wasser ($CH_3OH + O = HCOH + H_2O$). Durch weitere Oxydation der Aldehyde erhält man dann die Säuren; aus Methylaldehyd entsteht die Ameisensäure ($HCOH + O = HCOOH$). Die Gruppe $COOH$ (Carboxyl) ist allen Säuren eigen. Die Ameisensäure ($H_2CO_2 = HCOOH$) kommt im freien Zustande in der roten Waldameise und in den Haaren der Prozessionsraupe vor; sie erzeugt auf der Haut schmerzhafte Wunden.

In entsprechender Weise entstehen aus dem Alkohol der Fettreihe die anderen Fettsäuren, von denen wieder die aus dem Äthylalkohol hervorgehende **Essigsäure** die wichtigste ist. Die **Essigsäure** wird entweder durch Oxydation von Äthylalkohol oder durch trockene Destillation des Holzes gewonnen. Werden Alkohol enthaltende Flüssigkeiten, wie Bier, Wein oder Branntwein, wenn sie nicht zu stark alkoholhaltig sind, mit etwas Essig vermischt und in mäſsiger Wärme dem Einflusse der Luft ausgesetzt, so verwandeln sich diese Flüssigkeiten unter dem Einflusse eines Pilzes in mehreren Wochen in Essig (oder verdünnte Essigsäure). In einem festverschlossenen Gefäſse bildet sich wegen Abwesenheit des Sauerstoffs der Luft keine Essigsäure ($C_2H_5OH + 2O = CH_3COOH + H_2O$). Die Essigbildung besteht also in einer Vereinigung des Alkohols mit dem Sauerstoff der Luft. Man kann daher schnell Essig bereiten, indem man verdünnten Alkohol über einen groſsen Raum ausbreitet und ihn so mit mehr Sauerstoff in Berührung bringt; man füllt aufrechtstehende Fässer (Essigbilder, Fig. 407) mit buchenen, mit Essig getränkten Spänen, gieſst verdünnten Alkohol auf den durchlöcherten Deckel und läſst ihn sich über die Späne ausbreiten, während atmosphärische Luft das Faſs durchströmt. Holzessig ist in der Flüssigkeit enthalten, die bei der trockenen Destillation des Holzes gewonnen wird.

Fig. 407.



Beim Verderben der Butter, die im wesentlichen aus Buttersäure und Glyzerin besteht, wird die Buttersäure frei und erteilt dann der Butter einen ranzigen Geschmack. Durch Erhitzen der ranzigen Butter wird dann die Buttersäure ausgetrieben, und die Butter ist dann noch verwendbar.

Von den übrigen **Fettsäuren** sind noch die **Palmitinsäure** ($C_{15}H_{31}COOH$) und die **Stearinsäure** ($C_{17}H_{35}COOH$) zu erwähnen. Die Palmitinsäure findet sich besonders im Palmöl, aber auch in fast allen anderen Fetten des Pflanzen- und Tierreiches, ebenso wie die Stearinsäure und die nicht zu den Fettsäuren gehörige **Ölsäure**. Letztere bildet ein farbloses Öl, während die beiden Fettsäuren feste Körper sind. Diese drei Säuren bilden in den **Fetten** mit Glyzerin eine Verbindung,

und zwar einen Äther (nächster Paragraph). Die Fette und Öle sind leichter als Wasser und darin unlöslich, dagegen meist löslich in Schwefelkohlenstoff, Schwefeläther, heifsem Alkohol, Benzin und Chloroform. Je mehr Stearin- und Palmitinsäure die Fette (Öle) enthalten, um so fester sind sie, je mehr Ölsäure, um so flüssiger.

Feste und halbfeste Fette sind: Rindstalg, Schweinefett, Kuhbutter, Palmöl, Kokosöl, Wachs und Walrat; nicht trocknende Öle: Olivenöl, Rüböl, Tran; trocknende Öle: Leinöl, Hanföl, Nufsöl usw.

Eine weitgehende Anwendung finden die Fette zur Herstellung von **Seifen.** Letztere bestehen aus fettsaurem Alkali. Man erhält daher Seifen, wenn man Fette mit Ätzkali oder Ätznatron kocht. Im ersten Falle erhält man Schmierseife (fettsaures Kali), im zweiten Falle harte oder Natronseife. Als Nebenprodukt erhält man bei der Seifenbereitung Glyzerin. Die Wirkung der Seife beruht darauf, dafs sie im Wasser löslich ist, dafs sie Fette auflöst, und dafs hierbei die Seife in freies Alkali und fettsaures Salz zerfällt. In hartem kalkhaltigem Wasser bildet die Seife zuerst mit dem kohlensauren Kalk ein Gerinnsel (fettsaurer Kalk) und kohlensaures Natron. Es ist demnach zweckmäfsiger, mit Regen- oder Flufswasser zu waschen oder das Wasser vorher durch Zusatz von Soda (kohlensaurem Natron) weich zu machen.

Pflaster sind Verbindungen von Fettsäure mit Bleioxyd statt mit Alkali. Flüchtiges Liniment ist eine Mischung von vier Teilen Olivenöl mit einem Teil Ammoniak; Opodeldok eine solche von Seife, Ammoniak, Alkohol, Kampfer und ätherischen Ölen.

Durch Gärung der Milch und auch des Traubenzuckers bildet sich die **Milchsäure.** Sie findet sich in sauer gewordener Milch, in sauern Gurken, im Sauerkraut usw. als Gärungsmilchsäure, und als Fleischmilchsäure besonders im mageren Fleisch.

Eine im Pflanzenreich weit verbreitete Säure ist die **Oxalsäure** oder Kleesäure. Ihr Kaliumsalz ist im Sauerklee und Sauerampfer enthalten und das Calciumsalz in vielen anderen Pflanzen. Sauerkleesalz wird zum Entfernen von Eisentinten- und Rostflecken aus weifser Wäsche gebraucht. Es bildet sich dabei in Wasser lösliches oxalsaures Eisenoxyd-Kalium. Die Oxalsäure und die leicht löslichen oxalsauren Salze (Oxalate) sind starke Gifte.

Die **Weinsäure** oder **Weinsteinsäure** ist ebenfalls im Pflanzenreiche sehr verbreitet und findet sich vornehmlich in den Weintrauben. Sie dient zur Bereitung moussierender Getränke und bildet mit doppeltkohlensaurem Natron und Zucker das Brausepulver. Die Weinsäure vermag die Kohlensäure zu vertreiben, indem sie selbst mit dem Natron weinsaures Natron bildet.

Von anderen organischen Säuren, die in den Pflanzen vorkommen, seien noch erwähnt die Zitronensäure (in den Zitronen, Johannis- und Stachelbeeren usw.) und die Äpfelsäure (im freien Zustande in den unreifen Äpfeln und in den Vogelbeeren).

Auch in der aromatischen Reihe gibt es eine aufserordentlich grofse Reihe von Säuren.

Die **Benzoësäure** (C_6H_5COOH) findet sich im Benzoëharz und anderen Harzen; wird der Dampf der Benzoësäure durch ein glühendes Rohr geleitet, so zerfällt er in Kohlendioxyd und Benzol.

Läfst man Kohlendioxyd auf ein eingedampftes Gemenge von Karbolsäure und Ätznatron einwirken, so erhält man salizylsaures Natron; aus diesem wird durch eine stärkere Säure die Salizylsäure ausgeschieden. Dieselbe findet sich in freiem Zustande in den Blüten von Spiraea ulmaria und als Methyl-

verbindung im Wintergrünöl (das Öl von Gaultheria procumbens). Sie wird als Antiseptikum, zum Konservieren von Nahrungsmitteln und als Heilmittel verwendet.

Die **Gerbsäuren** finden sich in den Rinden vieler Pflanzen (sie bieten den Pflanzen wegen ihres bitteren Geschmacks einen Schutz gegen Tierfraſs), in chinesischem Tee und in manchen Sorten Rotwein. Sie werden, weil sie mit tierischer Haut unlösliche, der Fäulnis nicht ausgesetzte Verbindungen (Felle) bilden, in der Gerberei gebraucht. Die Eichengerbsäure ist in der Eichenrinde und in den Galläpfeln enthalten; sie bildet mit einer Lösung von schwefelsaurem Eisenoxydul die Galläpfeltinte. Beim Erhitzen zerfällt die Eichengerbsäure in Wasser und Gallussäure, die in farblosen, glänzenden Nadeln kristallisiert; wird trockene Gallussäure erhitzt, so zersetzt sie sich in Kohlendioxyd und Pyrogallussäure, welche in Form weiſser Kristalle erscheint und, weil sie Silbersalze reduziert, beim Photographieren als Entwickler von Bromsilberplatten verwendet werden kann.

§ 216. Äther.

Unter Äther im weiteren Sinne versteht man Verbindungen, welche unter Wasseraustritt zwischen Alkoholen allein oder zwischen Alkoholen und Säuren sich bilden oder als auf diese Weise entstanden gedacht werden können.

Man unterscheidet:

1. Einfache Äther, wenn zwei Alkohole derselben Art der Verbindung zugrunde liegen. So entsteht aus Methylalkohol der Methyläther ($CH_3{-}OH + CH_3{-}OH = H_2O + CH_3{-}O{-}CH_3$).

2. Gemischte Äther entstehen in entsprechender Weise aus zwei verschiedenen Alkoholen, z. B. entsteht aus Methylalkohol und Äthylalkohol der Methyl-Äthyläther ($CH_3{-}OH + C_2H_5{-}OH = H_2O + CH_3{-}O{-}C_2H_5$).

Zusammengesetzte Äther oder Ester entstehen aus Säuren und Alkoholen. Tritt eine Säure mit dem entsprechenden Alkohol zusammen, so erhält man

3. einen zusammengesetzten Äther. So erhält man aus Ameisensäure ($H{-}COOH$) und Methylalkohol ($CH_3{-}OH$) den ameisensauren Methyläther: ($H{-}COOH + CH_3{-}OH = H{-}COOCH_3 + H_2O$). Endlich erhält man

4. zusammengesetzte gemischte Äther aus einer Säure und einem nicht entsprechenden Alkohol, z. B. aus Ameisensäure und Äthylalkohol den Ameisensäure-Äthyläther ($H{-}COOH + C_2H_5OH = H{-}COOC_2H_5 + H_2O$). Zusammengesetzte Äther oder Ester entsprechen also den Salzen; die Stelle der Basen nehmen die entsprechenden Alkoholreste (Alkyle), z. B. C_2H_5 aus dem Äthylalkohol, ein.

Von den einfachen Äthern ist am bekanntesten der **Äthyläther**, Schwefeläther oder schlechthin Äther ($C_2H_5OC_2H_5$). Er hat den Namen Schwefeläther, weil er durch Erwärmen mit Äthylalkohol mit mäſsig verdünnter Schwefelsäure erhalten wird. Er ist eine klare, leicht entzündliche und leicht verdunstende Flüssigkeit von eigentümlichem Geruch, welche Fette, Harze, Öle, Schwefel, Phosphor usw. auflöst. Er verdampft schon bei gewöhnlicher Temperatur und ruft daher, auf die Haut gebracht, starke Abkühlung hervor. Sein mit Luft gemischter Dampf explodiert. Ein Gemisch von Äther und Alkohol ist unter dem Namen „Hoffmanns Tropfen" bekannt. Die zusammengesetzten und zusammengesetzt gemischten Äther haben fast alle einen sehr angenehmen, erfrischenden Geruch und dienen deshalb zur Herstellung von Riech- und Fruchtessenzen, z. B. von Äpfel-, Birnen-, Aprikosen-, Kirschen-, Erdbeeräther sowie zur Herstellung von Kognak- und Rumessenz.

Die Fette, die schon oben behandelt wurden, sind Ester des dreifachen Alkohols Glyzerin sowie der Palmitinsäure, der Stearinsäure und der Ölsäure.

§ 217. Die Kohlenhydrate.

Unter Kohlenhydraten versteht man eine Gruppe von Verbindungen, die aus Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff bestehen, und in welchem die beiden

letztgenannten Elemente im Verhältnisse von 2 : 1, wie im Wasser, stehen. Die allgemeine Formel für die Kohlenhydrate ist daher $C_x(H_2O)_y$.

Hierher gehören zunächst die verschiedenen Zuckerarten:

1. der Rohrzucker ($C_{12}H_{22}O_{11}$) findet sich sehr verbreitet im Pflanzenreiche, besonders im Zuckerrohr, in den Zuckerrüben und im Zuckerahorn, in kleineren Mengen in vielen Früchten und im Honig. Der durch Auspressen erhaltene Stoff wird durch Zusatz von Kalkmilch geläutert und von Säuren befreit; er wird gekocht, durch Knochenkohle gereinigt oder raffiniert und in fast luftleeren Kesseln bei nicht zu groſser Wärme eingedampft. Der Rohrzucker kommt in zwei verschiedenen Formen in den Handel, als kristallisierter oder Kandiszucker und als Hutzucker. Stark erhitzt, schmilzt der Zucker und erstarrt nachher beim Abkühlen als Gerstenzucker oder Bonbon zu einer durchscheinenden Masse. Noch stärker erhitzt, färbt sich der Zucker braun und dient als Karamel, Zuckercouleur oder gebrannter Zucker zum Färben von Bratenbrühen und Getränken (Bier). Zucker löst sich leicht in Wasser; konzentrierte Zuckerlösung läſst sich lange unverändert aufbewahren; verdünnte Zuckerlösung geht bald in Gärung über. Zucker verhält sich also hier wie Alkohol, der ebenfalls in konzentriertem Zustande haltbar, in verdünntem leicht zersetzbar ist. Verdünnte Säuren nehmen dem Rohrzucker die Fähigkeit zu kristallisieren und bewirken, daſs er zu Traubenzucker wird. — Bis ins 18. Jahrhundert kannte man nur den aus den Kolonien eingeführten Rohrzucker. Erst im Jahre 1747 wies der Berliner Chemiker Marggraf nach, daſs in den Rüben derselbe Zucker sei wie im Zuckerrohr. Die Rübenzuckerfabrikation kam aber erst zu einer Blüte, als durch die von Napoleon verhängte Kontinentalsperre der Preis eines Pfundes auf 2 Taler stieg. Wenn dann auch nach Aufhebung der Kontinentalsperre die meisten Rübenzuckerfabriken wieder eingingen, so lieſs sich doch nunmehr die einmal entstandene Rübenzuckerindustrie in ihrer Entwicklung nicht mehr aufhalten, und es gelang der Technik und der Wissenschaft, diese Industrie in den meisten Kulturstaaten, besonders auch in Deutschland, auf eine ungeahnte Höhe zu bringen. Als Beleg hierfür sei erwähnt, daſs man zur Gewinnung eines Zentners Zucker im Jahre 1836 etwa 18 Zentner, im Jahre 1894 etwa 8 Zentner Rüben brauchte; damit im Zusammenhang steht, daſs man, während Marggraf den Zuckergehalt der Rüben auf 6 % bestimmte, jetzt Rüben mit einem durchschnittlichen Gehalt von 15 %, ja in einzelnen Fällen von 20 % Zuckergehalt erzielt.

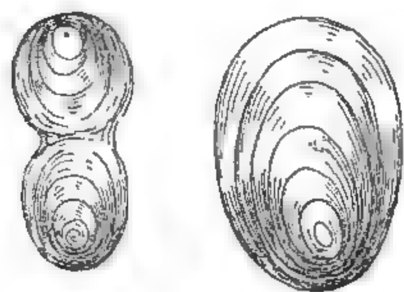
2. Der Traubenzucker (Stärke- oder Krümelzucker, $C_6H_{12}O_6$) findet sich ebenfalls sehr verbreitet im Pflanzenreiche, besonders in süſsen Früchten; er läſst sich künstlich durch Erhitzen von Stärkemehl mit verdünnter Schwefelsäure herstellen. Er ist weiſs und weniger süſs als der Rohrzucker. In geringen Mengen findet sich der Traubenzucker in allen tierischen Flüssigkeiten; in gröſserer Menge wird er von Zuckerkranken, bei welchen sich der Traubenzucker aus dem Stärkemehl der Nahrungsmittel bildet, ausgeschieden. Der Zuckerkranke ist deshalb in seiner Ernährung vor allem auf Fleisch, Eier, Butter, also auf animalische Nahrung angewiesen, während Zucker und aus Mehl bereitete Speisen, also fast alle vegetabilischen Nahrungsmittel, von Zuckerkranken zu meiden sind.

3. Der Milchzucker findet sich zu 3—5 % in der Milch; er hat einen schwach süſslichen Geschmack und fühlt sich im Munde sandig an. Man gewinnt ihn als Nebenprodukt bei der Käsebereitung. Durch den Übergang des Milchzuckers in Milchsäure wird die Milch sauer.

4. Ein weiteres, sehr wichtiges Kohlenhydrat ist das **Stärkemehl**, das im Pflanzenreiche allgemein verbreitet ist. Kartoffeln, Getreide, Hülsenfrüchte und das Mark der Palmen sind besonders reich an **Stärkemehl** ($C_6H_{10}O_5$), das, wenn jene Pflanzenteile zerrieben und in Wasser ausgepreſst werden, darin als

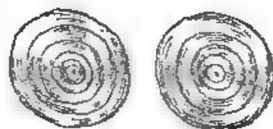
ein weifser Bodensatz niedersinkt. Das Stärkemehl bildet Körnchen, die bei verschiedenen Pflanzen verschieden gestaltet, aber meist aus konzentrischen Schichten zusammengesetzt sind (Fig. 408); im Wasser, Alkohol und Äther ist es unlöslich; in warmem Wasser quellen die Stärkemehlkörnchen auf und bilden Kleister. Das Stärkemehl dient zu Backwaren, zum Stärken (Steifen) der Wäsche, zum Appretieren von Zeug und zum Kleben sowie zur Darstellung des Stärkezuckers und des Dextrins. Wird sehr verdünnte Schwefelsäure gekocht und ihr nach und nach etwa halb so viel mit Wasser angerührte Stärke zugesetzt, darauf zur Mischung Kreide hinzugetan, damit diese die Schwefelsäure an sich reifst, und endlich die Flüssigkeit filtriert und eingedampft, so erhält man einen sehr süfsen Sirup, den Stärkesirup, und aus diesem leicht den Stärkezucker. Auch entwickelt sich in der keimenden Gerste, dem Malz, ein Stoff, **Diastase** genannt, welcher dieselben Dienste tut wie die Schwefelsäure. Daher die grofse Wichtigkeit desselben für Brauer und Branntweinbrenner, denn wenn aus Kartoffeln oder Getreide Bier oder Branntwein gewonnen werden soll, so mufs stets zuerst das in jenen enthaltene **Stärkemehl in Zucker umgewandelt** werden. In entsprechender

Fig. 408 a.



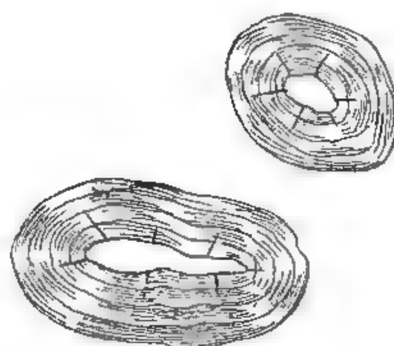
Kartoffelstärke.

Fig. 408 b.



Weizenstärke.

Fig. 408 c.



Linsenstärke.

Weise wird das unlösliche Stärkemehl beim Kauen durch das Ptyalin des Speichels in löslichen Zucker verwandelt, so dafs schon im Munde eine Art Vorverdauung stattfindet. Jod gibt der Stärke, namentlich aber dem Stärkekleister, eine blaue Färbung und dient deshalb zum Nachweis des Stärkemehls. Die blaue Färbung erscheint aber nur beim Abkühlen des Kleisters.

Dieselbe chemische Formel ($C_6H_{10}O_5$) hat auch die **Zellulose und Holzfaser,** welche den Hauptbestandteil der Zellmembran bildet. Ziemlich reine Zellulose ist die Baumwollfaser (§ 33). Die Zellulose ist sehr widerstandsfähig; sie ist unlöslich in Wasser, Alkohol, verdünnten Säuren und Alkalien und eignet sich daher sehr gut zum Herstellen von Geweben (Leinwand, Baumwolle).

5. Durch Rösten von Stärkemehl erhält man gelbbraunes **Dextrin** ($C_6H_{10}O_5$), das in Wasser löslich ist und als Klebstoff, beim Zeug- und Tapetendruck, zum Glasieren von Papier usw. Verwendung findet. Es ist ein notwendiger Bestandteil des Bieres und entsteht beim Brotbacken als der bekannte glänzende Überzug des Gebäcks.

Ebenfalls zu den Kohlenhydraten gehören die aus verschiedenen Pflanzen quellenden Lösungen: Kirsch- und Pflaumengummi und das von verschiedenen Acacia-Arten herrührende arabische Gummi, sowie die in Wasser aufquellenden Pflanzenschleime der Quitte, des Leinsamens und der Althaea (Eibisch).

§ 218. Ätherische Öle und Kampfer.

Ätherische Öle finden sich in allen stark riechenden Pflanzen, namentlich in Blüten, Blättern und Früchten in besonderen Zellen. Man gewinnt sie meisten-

teils, indem man die dazu geeigneten Pflanzenteile mit Wasser destilliert und die erhaltene abgekühlte Flüssigkeit in eine Florentiner Flasche (Fig. 409) leitet, in welcher das Öl sich oben sammelt, während Wasser durch die Röhre abfliefst. Die Mehrzahl der ätherischen Öle besteht nur aus Kohlenstoff und Wasserstoff; einige enthalten auch noch Sauerstoff. Sie machen auf Papier einen Fettfleck, der nach einiger Zeit verschwindet, da sie schon bei gewöhnlicher Temperatur verdunsten. Sie sind in Wasser schwer, in Alkohol und Äther leicht löslich. Sie selbst lösen viele Pflanzenstoffe, z. B. Harze, auf. An der Luft nehmen manche Sauerstoff auf und verharzen dabei. Zu ihnen gehört

Fig. 409.



das **Terpentinöl.** Aus den in die Rinde der Nadelhölzer gemachten Einschnitten sondert sich ein Harz ab, das Terpentinöl enthält; das Terpentinöl ist eine klare und stark riechende, in Alkohol lösliche, mit rufsender Flamme brennende Flüssigkeit. Es dient zum Auflösen von Harzen und zum Verdünnen von Ölfarben. In ihren chemischen Eigenschaften sind dem Terpentinöl sehr ähnlich die zu Parfümerien benutzten Öle, das Zitronenöl, das Bergamottöl (aus den Schalen der Bergamottzitronen), das Nelkenöl (aus den Gewürznelken), das Kümmelöl, das Lavendelöl, das Lorbeeröl, das Pfeffermünzöl, das Fenchelöl, das Orangenblüten- oder Neroliöl und das Rosenöl, das, besonders in Persien, jetzt aber auch vielfach in Deutschland (Leipzig), aus Rosenblättern gewonnen wird.

Als Kampfer bezeichnet man mehrere sauerstoffhaltige Kohlenwasserstoffverbindungen pflanzlichen Ursprungs, die sich durch Flüchtigkeit und starken Geruch auszeichnen; sie enthalten alle je 10 Atome Kohlenstoff. Der gewöhnliche **Kampfer** ($C_{10}H_{16}O$) wird aus dem Holze des Kampferlorbeers, eines in Japan und China einheimischen Strauches, dargestellt. Kampfer ist ein weifser, ziemlich weicher Körper von durchdringendem Geruch; er ist löslich im Alkohol und wird in der Medizin im Kampferspiritus und im Opodeldok verwendet; auch als Mittel gegen Motten wird er gebraucht. — Hierher gehört auch das Menthol, das aus Pfeffermünzöl hergestellt wird und den wirksamen Bestandteil der Migränestifte bildet.

§ 219. Harze.

Die **Harze** entstehen aus den ätherischen Ölen, indem diese bei längerer Berührung mit der Luft dickflüssig und zuletzt fest werden; die noch dickflüssigen Harze werden auch Balsame genannt. Die Harze sind durchscheinend, in Wasser unlöslich, löslich in Alkohol und Ölen.

1. Das **Terpentin** fliefst, mit Terpentinöl verbunden, aus der Rinde von Nadelhölzern und kommt im Handel vor als gemeiner oder venetianischer Terpentin und als Kanadabalsam (aus der in Amerika heimischen Balsamkiefer gewonnen); letzterer wird zu optischen Präparaten verwendet. Das Terpentin wird durch Umschmelzen unter Zusatz von Wasser gereinigt und erscheint dann als ein weifses Harz; durch längeres Schmelzen wird dasselbe dunkler und bildet dann das Kolophonium oder Geigenharz. Schmilzt man geringere Sorten von Fichtenharz, so erhält man das schwarze Pech oder Schusterpech.

2. Der **Gummilack** dringt infolge von Insektenstichen aus der Rinde mehrerer Baumarten Ostindiens. In dünne Tafeln ausgegossen, führt er den Namen

Schellack, ist braun und in Alkohol löslich. Mit Terpentin und Zinnober bildet er den Siegellack, in Alkohol gelöst die Politur der Tischler und Schellackfirnis.

3. Der **Bernstein** ist ein aus einer Pinusart herrührendes, fossiles Harz, das besonders an der preufsischen Ostseeküste gefunden wird. Er ist glänzend, gelb oder braun, schmilzt und riecht beim Erhitzen; geschmolzen löst er sich leicht in Alkohol und bildet einen Firnis. Gerieben, wird der Bernstein, wie alle Harze, negativ elektrisch. Am Bernstein ist wohl zuerst die anziehende Wirkung der Elektrizität beobachtet worden; er hat der Elektrizität ihren Namen gegeben (Elektron = Bernstein [§ 10]).

4. Der **Asphalt** (Erdharz, Erdpech) ist ebenfalls wie der Bernstein ein fossiles Harz und findet sich schwimmend im Toten Meer und am Kaspischen Meere, in Syrien, der Schweiz und Frankreich. Er ist glänzend schwarz und dient zur Darstellung von Eisenlack; geschmolzen und mit Kalkstein oder Sand gemengt zur Pflasterung. In Alkohol ist er unlöslich, leicht löslich dagegen in Äther, Benzin und Terpentinöl.

5. Der **Kautschuk** oder der elastische Gummi ist den Harzen ähnlich. Er ist der eingetrocknete Milchsaft von mehreren in Ostindien und Südamerika wachsenden Baumarten; er ist braun und elastisch, beim Erwärmen klebrig, in der Kälte schwer zu biegen. In Äther, Schwefelkohlenstoff und Kautschuköl läfst er sich lösen; weil er Wasser nicht durchläfst, dient er zur Anfertigung von wasserdichten Stoffen und Schläuchen. In der Wärme mit Schwefel zusammengeknetet, wird er zu vulkanisiertem Kautschuk, durch Einkneten von mehr Schwefel, Kreide und Schwerspat ($BaSO_4$) zu Hartgummi oder Ebonit, einer hornartigen, schwarzen Masse, aus welcher Kämme gefertigt werden, und die als schlechter Elektrizitätsleiter vielfach zur Anfertigung von elektrischen Apparaten verwendet wird.

6. Die **Guttapercha** ist der Milchsaft der ostindischen Isonandra gutta; sie ist dem Kautschuk ähnlich, doch wenig elastisch. Sie wird bei 75^0 weich und läfst sich beliebig formen und zu Röhren und Gefäfsen verarbeiten.

§ 220. Farbstoffe.

Früher verwendete man nur natürlich vorkommende Farbstoffe. Hierher gehören:

Krapp (Rubia tinctorium). Aus der Wurzel derselben stellte man verschiedene Farben, besonders das Türkischrot, her.

Der wässerige Auszug des Kampescheholzes wird als blauer, der des Fernambukholzes als roter Farbstoff verwendet.

Wie der Krapp, so ist auch die Cochenille (die getrockneten Weibchen einer Schildlaus) von künstlichen Farbstoffen ganz verdrängt. Sie lieferte den Karmin.

Von grofser Bedeutung war früher der Indigo, der aus verschiedenen Arten der in Südamerika, besonders aber in Indien wachsenden Indigopflanze gewonnen wird. Seitdem aber andere künstliche blaue Farbstoffe und in den letzten Jahren der Indigo selbst in Deutschland künstlich dargestellt wird, tritt die Bedeutung des natürlich vorkommenden Indigos immer mehr zurück. Überhaupt werden die natürlichen Farbstoffe mehr und mehr durch die künstlichen verdrängt. Die Teerfarbenfabrikation steht besonders in Deutschland in der höchsten Blüte; stellt man doch heute schon über 400 in der Praxis verwendbare Teerfarbstoffe her.

§ 221. Über die Nahrung.

In allen organischen Wesen findet ein beständiger Stoffwechsel statt. Beim Einatmen tritt aus der Atmosphäre Sauerstoff in unsere Lunge.

Wenn wir aber die ausgeatmete Luft in ein Gefäfs mit Kalkwasser blasen, so wird dasselbe trübe, also enthält die ausgeatmete Luft Kohlendioxyd. Doch nehmen wir nicht reinen Sauerstoff auf und scheiden auch nicht reines Kohlendioxyd beim Ausatmen aus, sondern es enthalten 10000 Teile eingeatmete Luft etwa 7900 Teile Stickstoff (ausschliefslich Argon, Helium usw.), etwa 2100 Teile Sauerstoff und 4 Teile Kohlendioxyd, während in 10000 Teilen ausgeatmeter Luft etwa 7940 Teile Stickstoff, aber nur etwa 1620 Teile Sauerstoff, dafür aber 440 Teile Kohlendioxyd enthalten sind; es wird aber überhaupt etwa 1% Luft weniger aus- als eingeatmet. In den Lungen der Menschen und Tiere geht der eingeatmete Sauerstoff in das Blut über und wird von demselben allen Körperteilen zugeführt.

Die Lebenstätigkeit des Tierkörpers wird unter Zerstörung einzelner Zellen erhalten; dabei zerfallen die zusammengesetzten chemischen Verbindungen unter Sauerstoffaufnahme besonders in die zwei einfacheren Verbindungen: Kohlendioxyd und Wasser, Verbindungen, die überhaupt bei Zersetzung organischer Stoffe leicht entstehen. Auch im Leben der Pflanze spielen sich ähnliche Prozesse ab; auch sie nimmt Tag und Nacht aus der Luft Sauerstoff auf und scheidet Kohlensäure als Oxydationsprodukt ab. Es würde also der Kohlensäuregehalt der Luft beständig zunehmen und der Sauerstoffgehalt beständig abnehmen müssen, ein Leben von Tieren und Pflanzen also schliefslich zur Unmöglichkeit werden, wenn nicht im Pflanzenkörper noch ein anderer wichtiger Prozefs verliefe.

Neben der Atmung spielt sich nämlich in der Pflanze noch der Prozefs der Assimilation ab. Ein Hauptunterschied zwischen den meisten Pflanzen und Tieren besteht gerade darin, dafs die Pflanze sich aus unorganischen Stoffen ihre Nahrung selbst herzustellen vermag. Die chlorophyllhaltigen Zellen der Blätter sind in der Lage, unter Einflufs der Sonnenstrahlen (und zwar besonders der roten Strahlen, die also auf die photographische Platte nicht einwirken [§ 156, S. 186]) aus dem Kohlendioxyd der Luft und aus der mit Hilfe der Gefäfse aufgenommenen, stark verdünnten Nährsalzlösung sich ihre Nahrung zu bereiten, die aus Stärke, Zucker usw. besteht. Dabei wird der Kohlenstoff des Kohlendioxyds in Anspruch genommen, und Sauerstoff wird frei. Auf diese Weise wird das beim Atmen der Pflanzen und Tiere erzeugte Kohlendioxyd immer wieder verbraucht, und der aufgebrauchte Sauerstoff wird wieder ersetzt. So wird durch das Zusammenleben von Pflanzen und Tieren die Zusammensetzung der atmosphärischen Luft immer konstant erhalten. Die Darstellung von Stärke aus Sauerstoff und Wasser verläuft nach der Formel:



$$6\,CO_2 + 5\,H_2O = C_6H_{10}O_5 + 12\,O.$$

Wahrscheinlich wird aber in der Pflanze zuerst nicht Stärke, sondern Zucker gebildet. Überhaupt kann man in der Pflanze oft eine Verwandlung von Stärke in Zucker und umgekehrt beobachten. In den unreifen Erbsen, den „Schoten“, findet sich Zucker, in den reifen Erbsen dagegen Stärke. Wenn Kartoffeln gefrieren, werden sie süfs, weil sich die Stärke in Zucker verwandelt hat.

Während also die Pflanzen, mit Ausnahme der Schmarotzer (Parasiten) und der Fäulnisbewohner (Saprophyten), imstande sind, aus organischen Körpern: Wasser, Kohlendioxyd und Salzen ihre Nahrungsmittel: Stärke, Zucker, Eiweifs sich selbst zu bereiten, fehlt den Tieren diese Eigenschaft.

Die chemischen Grundstoffe, die unseren Körper zusammensetzen, sind in erster Linie Kohlenstoff (C), Sauerstoff (O), Wasserstoff (H) und Stickstoff (N), die sogenannten Organogene; aufserdem sind Chlor, Schwefel, Phosphor, Calcium und verschiedene andere leichte Metalle, besonders aber auch das Eisen, zum Aufbau des Körpers nötig. Chlor bildet in Verbindung mit Natrium als Kochsalz einen wichtigen Bestandteil des Blutes, mit Wasserstoff verbunden als Chlorwasserstoff

(Salzsäure) einen notwendigen Bestandteil des Magensaftes, Schwefel ist ein hervorragender Bestandteil jedes Eiweifskörperchens; phosphorsaurer Kalk ist der wesentlichste Bestandteil der Knochen; auch ist Phosphor am Aufbau der Nervensubstanz beteiligt, während das Eisen in den roten Blutkörperchen in genügender Menge vorhanden sein mufs. Um diese Elemente wieder zu ersetzen, können dieselben weder direkt als Elemente noch im allgemeinen in anorganischer Verbindung dem Körper zugeführt werden; vielmehr sind wir darauf angewiesen, genannte Elemente in organischen Verbindungen, die aus dem Pflanzen- oder Tierreiche stammen können, zu geniefsen. Zur Bildung von Blut brauchen wir die stickstoffhaltigen Eiweifskörper, wie sie uns in der Milch, den Eiern, dem mageren Fleisch, den Hülsenfrüchten und dem Kleber des Getreides entgegentreten. Zur Bildung von Fett sind die Kohlenhydrate (Stärke, Zucker) oder direkt Fette oder Öle verwendbar. Wasser geniefsen wir teils direkt, teils als Hauptbestandteil von Getränken und auch der meisten Nahrungsmittel, besonders von Obst und jungem Gemüse. Auch die dem Körper nötigen Salze sind in vielen Nahrungsmitteln enthalten; nur Kochsalz pflegen wir als Würze unseren Speisen zuzusetzen.

Das zur Bildung des Blutes nötige Eiweifs ist also vor allem in der animalischen Nahrung enthalten; denn sind auch die Hülsenfrüchte reich an einem Pflanzeneiweifs, dem Legumin, so ist dasselbe doch nicht so leicht verdaulich wie das Myosin des Muskelfleisches oder wie das Albumin der Eier. Um uns mit rein vegetabilischer Nahrung zu erhalten, würden wir auch zu grofse Mengen derselben aufnehmen müssen. Gemischte Nahrung ist deshalb für den Menschen die vorteilhafteste; weist doch auch schon das menschliche Gebifs und der Verdauungsapparat auf dieselbe hin; denn wir haben einerseits ein vollständiges Gebifs und keine fehlenden Eck- und Vorderzähne wie die Herbivoren, anderseits haben wir nicht so stark ausgebildete Backenzähne wie die Fleischfresser, die nur auf Fleischnahrung angewiesen sind; ferner haben wir nur einen einfachen Darmkanal und nicht drei oder vier Magen wie die Wiederkäuer, anderseits aber auch nicht einen so kurzen wie die reinen Fleischfresser. In kalter Jahreszeit und in kälteren Gegenden werden wir mehr auf Fleischnahrung, in wärmeren Gegenden und zu heifser Jahreszeit mehr auf Pflanzennahrung angewiesen sein.

Aufser den eigentlichen Nahrungsmitteln sind ferner noch die Gewürze und Genufsmittel von Bedeutung für das Wohlergehen des Menschen. Die Gewürze haben den Zweck, die Speisen schmackhafter zu machen und die Absonderung verschiedener Verdauungssäfte zu begünstigen. Dieselben sollen aber, besonders der Speise der Kinder, nicht im Übermafs zugeführt werden, da sie sonst auf die Bildung des Blutes und auf das Nervensystem nachteilig einwirken.

Unter den Gewürzen nimmt das Kochsalz die erste Stelle ein; dasselbe ist in gewissem Sinne noch als eigentliches Nahrungsmittel aufzufassen, ebenso wie der Zucker, das Speiseöl und verschiedene Pflanzensäuren, insbesondere der Essig. Andere eigentliche Gewürze sind die in unserer Heimat gezogenen: Zwiebeln, Knoblauch, Senf, Rettich, Wacholder, Dill, Kümmel, Anis, Safran, und die ausländischen: Pfeffer, Lorbeer, Gewürznelken, Piment, Kardamom, Sternanis, Muskatnufs, Ingwer, Kapern, Vanille usw. Sie alle dienen dazu, die Speisen schmackhaft zu machen und die verschiedenen Drüsen zur Absonderung von Verdauungssäften anzuregen.

Unter den eigentlichen Genufsmitteln nimmt der Alkohol, den die Menschen im Bier, Wein, Branntwein und Likör zu sich nehmen, die bedeutendste Stellung ein. In mäfsiger Menge genossen, bildet er für erwachsene Menschen ein wertvolles Reizmittel zur Förderung der Verdauung; auch bei manchen Krankheiten erweisen sich alkoholhaltige Getränke als Stärkungs- und Kräftigungsmittel. Kinder sollten den Alkoholgenufs vollständig meiden; doch auch bei Erwachsenen wirkt der Mifs-

brauch des Alkoholgenusses in nachteiligster Weise auf Verdauungssystem, Nieren und Nervensystem ein. Mehr als vierzig Prozent aller Geisteskranken, denen der Irrsinn nicht angeboren war, und ein ebenso hoher Prozentsatz der Verbrecher sind durch übermäfsigen Alkoholgenufs in ihr Unglück geführt worden. Es ist demnach eine dankenswerte Aufgabe der Gesetzgebung, dem Alkoholmifsbrauch möglichst zu steuern.

Zu den Genufsmitteln und nicht zu den eigentlichen Nahrungsmitteln gehört auch die Fleischbrühe, da sie weder reich an Fett noch an Eiweifs ist; dagegen enthält sie reichlich Salze und andere lösliche, wohlschmeckende Stoffe, die den Appetit anregen und die Verdauung fördern.

Andere Pflanzenstoffe wirken deshalb auf den Organismus ein, weil sie sogenannte **Alkaloide** enthalten, das sind stickstoffhaltige Verbindungen, die stets Kohlenstoff und Wasserstoff, mitunter auch Sauerstoff enthalten. Besonders reich an Alkaloiden ist die Familie der Nachtschattengewächse (Solanaceen). Viele Alkaloide sind als starke Gifte oder Arzneimittel bekannt. Hierher gehören: Morphin im Mohnsaft, Strychnin und Brucin im Krähenauge, Chinin in der Chinarinde, Hyoscyamin im Bilsenkraut, Atropin im Stechapfel und in der Tollkirsche, Coniin im Schierling.

Zu den Alkaloiden gehört auch der wirksame Bestandteil des Tabaks, das Nikotin. Die Wirkung desselben auf einen gesunden Organismus besteht in einer leichten Erregung oder Beruhigung der Nerven. Unmäfsiger Tabaksgenufs kann namentlich bei jugendlichen Personen Vergiftungserscheinungen hervorrufen; aber auch auf kräftigere Organisationen kann langandauernder und zu starker Tabaksgenufs Erkrankungen des Nervensystems und Abnahme der Sehkraft bewirken. Besonders schädlich ist das übermäfsige Rauchen von Zigaretten, die sehr nikotinreich sind, und bei denen noch die Entwicklung des Papierrauchs störend hinzutritt.

Zu den Alkaloiden rechnete man früher noch das in Kaffee und Tee vorkommende Koffeïn oder Teïn und das Theobromin des Kakaos.

Die genannten Stoffe wirken belebend auf das Nervensystem und machen deshalb Kaffee, Tee und Kakao zu geschätzten Genufsmitteln.

Aufser dem Koffeïn enthält der Kaffee noch ein flüchtiges Öl, was ihm sein eigentümliches Aroma verleiht, und die Kaffeegerbsäure.

Die Teeblätter enthalten aufser dem Teïn noch Gerbsäure und geringe Mengen von Kleber, Stärke und Gummi.

Sind Tee und Kaffee lediglich als Genufsmittel anzusehen, und haben deshalb Kinder und nervenschwache Personen ihren Genufs zu meiden, so nimmt der Kakao gleichzeitig die Stelle eines Nahrungsmittels ein, da er aufser dem erregenden Theobromin und einem flüchtigen Öl noch ansehnliche Mengen von Stärke, Fett und Eiweifs enthält. Durch Entziehung eines Teiles des Fettes erhält man den entölten Kakao. Aus einer Mischung von Kakao, Zucker und Gewürzen erhält man die Schokolade.

Obgleich unzählbare chemische Vorgänge stattfinden, bleibt die Menge des in der Natur vorhandenen Stoffes dieselbe. Alle Körper bestehen aus gleichartigen Molekülen; die Moleküle aber enthalten in einer gemeinsamen Ätherhülle die Atome oder kleinsten Teile der Elemente. Die Moleküle sind zerlegbar und ändern bei den Umwandlungen der Stoffe ihre Bestandteile, indem Atome eintreten oder austreten. Die Atome dagegen sind unzerlegbar und unzerstörbar und gehen durch alle chemischen Prozesse unverändert hindurch. Die von jedem Element in der Welt vorhandene Menge kann daher nie kleiner

werden. Aber es kann auch durch keinen chemischen Vorgang ein neues Atom entstehen, und ebensowenig kann ein Teilchen eines Elements sich in ein Teilchen von einem anderen verwandeln. Die von jedem Element bestehende Menge kann also auch nicht gröfser werden. Deshalb gilt der Satz, welcher als das **Prinzip von der Erhaltung des Stoffes** bezeichnet wird: **Die Menge des in der Welt vorhandenen Stoffes wird weder kleiner noch gröfser.**

Schlufs.

§ 222. Die Einheit in der Mannigfaltigkeit der Naturerscheinungen.

1. **Die mechanischen Erscheinungen der Körper** sind Erscheinungen der Bewegung und des Gleichgewichtes. Legt man oben auf eine spiralförmig gewundene Feder eine Last, so bewegt sich dieselbe abwärts und drückt die Feder zusammen. Dadurch wächst die Kraft der Feder; sie übt einen ebenso grofsen Druck nach obenhin aus wie die Last nach unten und hält derselben das Gleichgewicht. So tritt überhaupt Gleichgewicht ein, wenn zwei Kräfte einander entgegenwirken und gleiche Gröfse haben. Wird die eine Kraft kleiner, so wird das Gleichgewicht aufgehoben und durch die gröfsere Kraft Bewegung hervorgebracht. Ohne Körperbewegung läfst sich keine mechanische Arbeit ausführen. Wenn ein Bach ein Wasserrad treibt, wenn in den Sägemühlen die Säge Bretter schneidet, oder der Tischler die Bretter bearbeitet, so wird zu allen diesen Arbeiten Bewegung von Körpern erfordert.

2. Der **Schall** entsteht durch die schnelle schwingende Bewegung eines Körpers. An den Pianinosaiten für die tiefsten Töne nehmen wir die Bewegung mit den Augen deutlich wahr; an einer angeschlagenen Stimmgabel fühlen wir bei leiser Berührung die Schwingungen; an tönenden Platten beobachten wir, dafs sie aufgestreuten Sand in heftige Bewegung setzen. Die Zahl der Schwingungen in der Sekunde beträgt für den tiefsten hörbaren Ton 14, für den höchsten 40 000. Die Verbreitung des Schalles geschieht durch eine longitudinale Wellenbewegung der Luft mit einer Geschwindigkeit von 331 m (bei 0^{0} C) in einer Sekunde.

3. Unvergleichlich feiner und schneller als beim Schall ist die schwingende oder zitternde Bewegung bei den **Licht- und Wärmeerscheinungen**; die Zahl der Schwingungen in einer Sekunde steigt bis zu vielen Billionen, und die Bewegung schreitet mit der aufserordentlichen Geschwindigkeit von fast 300 000 Kilometern fort. Wärme ist auch in kalten Körpern vorhanden; denn ein kalter Körper kann einem noch kälteren Wärme mitteilen. Erst wenn ein Körper bis auf den absoluten Nullpunkt, welcher 273^{0} unter dem Gefrierpunkt liegt (§ 169,3), abgekühlt wäre, würde in ihm keine Wärme mehr vorhanden sein, d. h. seine Moleküle würden sich nicht bewegen. Da aber eine so niedrige Temperatur in der uns bekannten Natur nicht vorkommt, so ergibt sich: Die Moleküle aller irdischen Körper sind beständig in Bewegung und strahlen in einer kälteren Umgebung Wärme aus, indem sie ihre Bewegung auf den Äther (§ 160) übertragen.

Bei gewöhnlicher Temperatur sind die Wärmestrahlen dunkel, und ihre Schwingungszahl in einer Sekunde ist kleiner als 400 Billionen. Erhitzt man aber einen festen oder flüssigen Körper immer mehr, so wird die Schwingungszahl seiner Moleküle immer gröfser. Bei 525^{0} machen viele derselben etwas über 400 Billionen Schwingungen und teilen sie dem Äther mit; der Körper ist leuchtend, und zwar rotglühend, geworden, weil dem Rot unter den leuchtenden Strahlen die kleinste Schwingungszahl zukommt. Bei höherer Temperatur wachsen die Schwingungszahlen der Moleküle; zu den roten Strahlen kommen orangefarbige

und gelbe; der Körper glüht mit orangefarbigem Licht. Bei 1200° sind in den verschiedenen Molekülen auch Schwingungen von solcher Zahl entstanden, welche dem Grün, Blau und Violett entspricht, bis zu 800 Billionen. Sämtliche Farben mischen sich, und der Körper leuchtet (§ 156) mit weifsem Licht. Derselbe Körper, welcher bei gewöhnlicher Temperatur dunkle Wärme ausstrahlte, sendet also, nachdem die Schwingungszahl seiner Moleküle gröfser geworden ist, Licht aus. Wärme- und Lichtstrahlen, welche ihrem Wesen nach eins sind, unterscheiden sich durch die Schwingungszahlen der Moleküle und des durch dieselben bewegten Äthers. Dunkle Wärmestrahlen sind Strahlen mit 60 bis 400 Billionen Schwingungen; in den Lichtstrahlen dagegen beträgt die Zahl der Schwingungen über 400 bis 800 Billionen.

4. Der **Magnetismus** kann nicht als eine besondere Naturkraft angesehen werden. Es zeigt eine spiralförmig gewundene Drahtrolle, durch welche ein elektrischer Strom fliefst, dieselben Erscheinungen wie ein Magnet (§ 43); sie zieht Eisen an, sie nimmt, wenn sie frei beweglich aufgehängt ist, die Richtung der Magnetnadel an, und ihre Enden werden von den Polen eines Magnets angezogen oder abgestofsen. Deshalb hält man den Magnetismus für eine Wirkung von gleichlaufenden elektrischen Kreisströmen. Man nimmt nach Ampère an, dafs in allem Eisen von Natur elektrische Ströme vorhanden sind, welche um die Moleküle desselben fliefsen; aber die Ströme haben in dem unmagnetischen Eisen die verschiedensten Richtungen. Macht man jedoch, wie bei einem Elektromagnet, die Ströme um viele Moleküle gleichlaufend, so wird das Eisen magnetisch. Ein Magnet ist daher ein Eisen- oder Stahlstab, dessen Moleküle von parallelen elektrischen Strömen umflossen werden, deren Wirkungen sich zwar im Innern des Stabes gegenseitig aufheben, am Rande aber verstärken. Auch in der Erde sind wahrscheinlich elektrische Ströme vorhanden (§ 39), welche die Richtung von Osten nach Westen haben und den Magnetismus der Erde erzeugen.

5. Über das Wesen der **Elektrizität** läfst sich etwas einigermafsen Sicheres zurzeit nicht aussagen.

Dagegen haben die von Professor Hertz in Bonn angestellten Versuche ergeben, dafs durch die überspringenden Funken eines Funkeninduktors **elektrische Wellen** oder Ätherschwingungen hervorgebracht werden (§ 46, 3b, S. 58), und diese verbreiten sich in der Luft in derselben Weise und mit derselben Geschwindigkeit wie das Licht; dabei läfst sich durch Metallflächen eine Zurückwerfung, durch nicht leitende grofse Prismen eine Brechung, ferner auch eine Interferenz hervorbringen. Es sind transversale Schwingungen des Äthers, bei denen die Schwingungszahl kleiner und die Wellenlänge (0,6 bis 600 cm) weit gröfser ist als bei Licht und strahlender Wärme. Die Strahlen elektrischer Kraft unterliegen denselben Gesetzen wie die Lichtstrahlen. Daher liegt die Vermutung nahe, dafs die elektrischen Erscheinungen und die Lichterscheinungen dem Wesen nach eins sind.

6. **Chemische Erscheinungen.** Jedes Körpermolekül besteht aus zwei oder mehr Atomen. In den Molekülen der Elemente befinden sich Atome eines und desselben Stoffes, in den Molekülen zusammengesetzter Körper Atome verschiedener Stoffe. Weil in allen Körpern Wärme vorhanden ist, sind nicht blofs die Moleküle in beständiger Bewegung; sondern es führen auch die Atome innerhalb des Moleküls, dem sie angehören, mannigfache Bewegungen aus. Dabei kommen häufig Zusammenstöfse zwischen den Molekülen und Atomen der verschiedenen Stoffe vor und bewirken, dafs Atome in die Moleküle eintreten oder austreten und, indem sie sich anziehen, neue Moleküle bilden. Die Wärme befördert aber auch das Eintreten von chemischen Vereinigungen; weil bei steigender Temperatur die Bewegung der Atome immer heftiger wird,

kommen Atome verschiedener Körper sich so nahe, daſs sie aneinander haften. Bei allen chemischen Vorgängen finden Bewegungen statt.

Das Ergebnis, zu dem wir gelangen, ist folgendes: **Alle Naturerscheinungen bestehen in Bewegungen, und zwar in Bewegungen der Körper, ihrer Moleküle und Atome und des Äthers.**

7. Daher lassen sich durch Bewegung oder Arbeit alle Arten von Naturerscheinungen hervorrufen. Durch mechanische Arbeit entsteht der Schall, wenn Glocken geläutet oder Musikinstrumente gespielt werden, Licht, wenn wir einen Körper durch Reiben entzünden, Wärme, wenn Bohrer und Sägen anhaltend gebraucht werden, Magnetismus, wenn man einen Stahlstab mit einem Magnet streicht, Elektrizität, wenn eine Elektrisier- oder eine Dynamomaschine gedreht wird, ein chemischer Vorgang, wenn man durch einen Hammerschlag Nitroglyzerin zersetzt. — Umgekehrt sind aber auch die Naturkräfte arbeitsfähige Kräfte. Der Schall veranlaſst am Phonographen das Messerchen zum Schreiben; Kanonendonner erschüttert den Erdboden auf meilenweite Entfernung. Die chemische Zersetzung eines Sprengstoffes ist imstande, gewaltige Steinmassen loszulösen und fortzubewegen. Die durch chemische Vorgänge erregte Wärme führt groſsartige Arbeiten aus, indem sie durch Dampfmaschinen oder Gasmotoren ganze Fabriken in Betrieb erhält und Eisenbahnzüge in Bewegung setzt. Elektrizität im Bunde mit Magnetismus setzt die Wagen der elektrischen Bahnen in Bewegung und führt die Übertragung von Arbeit aus.

8. Weil alle Naturerscheinungen das Gemeinsame haben, daſs sie in Bewegungen von Körpern oder Arbeit bestehen, kann jede Art eine andere Arbeitserscheinung hervorrufen oder sich in eine andere verwandeln. Licht verwandelt sich in Wärme, wenn dasselbe von einem Körper absorbiert wird, Wärme in Licht, wenn man einen Körper bis zum Glühen erhitzt. Elektrizität verwandelt sich in Licht und Wärme in den elektrischen Glühlichtlampen und im Flammenbogen und zugleich in Schall bei elektrischen Funken und Blitzen. Ein bewegter Magnet erregt elektrische Ströme, und der Strom macht Elektromagnete magnetisch. In den galvanischen Elementen gestalten sich chemische Vorgänge in Elektrizität um, und bei der Elektrolyse Elektrizität in chemische Vorgänge. Bei diesen Verwandlungen wird an Arbeit nichts verloren und nichts gewonnen. Vielmehr haben die Ergebnisse genauer Versuche dazu geführt, den Satz aufzustellen, welcher **das Prinzip von der Erhaltung der Arbeit** genannt wird: **Der in der Welt vorhandene Arbeits- oder Energievorrat wird weder kleiner noch gröſser.**

Geschichtlicher Überblick.

a) Für den physikalischen Teil.

Altertum.

Archimedes (287—212 vor Chr.), Begründer der Lehre vom Gleichgewicht fester und flüssiger Körper. (Schwerpunkt, Hebelgesetze, Flaschenzug, Gewichtsverlust in Flüssigkeiten.)
Heron von Alexandrien (um 120 vor Chr.). (Heronsball.)

Mittelalter.

Verzichtete auf eigene Forschung und stützte sich in seinen Kenntnissen über die Natur auf die vielfach unrichtigen Angaben in den Werken des griechischen Naturphilosophen Aristoteles (384—322 vor Chr.).

Neue Zeit.

Kopernikus (1473—1543) stöfst das geozentrische Weltsystem des Ptolemäus (70—147 nach Chr.) um und ersetzt es durch das heliozentrische Weltsystem.
Gilbert (1540—1603) beschäftigt sich zuerst wissenschaftlich mit dem Magnetismus und der Reibungselektrizität (schafft die Bezeichnung „elektrisch").
Stevin (1548—1620) begründet die Gesetze des Gleichgewichts in Flüssigkeiten. (Fortpflanzung des Druckes nach allen Seiten.)
Galilei (1564—1642), Begründer der Bewegungslehre (Beharrungsgesetz, Fallgesetze, Wurfgesetze, Pendel, Kräfteparallelogramm).
Kepler (1571—1630) findet die Planetengesetze (astronomisches Fernrohr).
Torricelli (1608—1647) erfindet das Barometer zur Messung des Luftdrucks und der Luftdruckschwankungen.
Huygens (1629—1695) begründet die Wellenlehre des Lichtes. (Uhrhemmung durch das Pendel.)
Newton (1643—1727) findet das Gesetz der Massenanziehung und die Zerlegung des weifsen Lichtes durch das Prisma in farbige Strahlen.
von Guericke (1602—1686), Erfinder der Luftpumpe und der Elektrisiermaschine.
Snellius entdeckt (1626) das Lichtbrechungsgesetz.
Boyle (1660) und **Mariotte** (1679) finden das Boyle-Mariottesche Gesetz.
Fahrenheit (1686—1736), **Réaumur** (1683—1757), **Celsius** (1701—1744) erfinden zweckmäfsige Thermometer; Fahrenheit lehrt Siede- und Eispunkt bestimmen und benutzt (1724) zuerst Quecksilber statt Alkohol.
Newcomen erfindet (1712) die atmosphärische Dampfmaschine, nachdem **Papin** (1690) gefunden hatte, dafs die Spannkraft eingeschlossenen Wasserdampfes einen Kolben bewegen kann.
Watt (1736—1819) erfindet die Dampfmaschine mit geschlossenem Zylinder und der Schiebersteuerung.
Franklin (1706—1790) erfindet den Blitzableiter.
Galvani (1727—1798) entdeckt die galvanische Elektrizität.
Volta (1745—1827) erzeugt durch den Voltaschen Becherapparat und die Voltasche Säule elektrische Ströme; er verbessert den Elektrophor und erfindet den Kondensator.

Neueste Zeit.

Humboldt (1769—1859) beschäftigt sich mit dem Erdmagnetismus und bestimmt mit den Mitgliedern des Bureau des longitudes die Schallgeschwindigkeit in der Luft.

Örsted entdeckt die Einwirkung des elektrischen Stromes auf die Magnetnadel.
Ohm findet den Zusammenhang zwischen Stromstärke, elektromotorischer Kraft und Widerstand.
Gaufs und Weber stellen in Göttingen (für wissenschaftliche Zwecke) den ersten Telegraphen her.
Fraunhofer (1787—1826) untersucht die dunklen Linien im Sonnenspektrum (Verbesserung der Fernrohre).
Faraday (1791—1867) entdeckt die Induktionsströme.
Mayer (1814—1878) begründet die mechanische Wärmetheorie und die Lehre von der Erhaltung der Energie.
Kirchhoff und **Bunsen** in Heidelberg schaffen die Spektralanalyse (1860) und erforschen die Natur der Sonne.
Siemens (1816—1892) erfindet die Dynamomaschine.
Hertz entdeckt (1888) die elektrischen Wellen (Marconi, Telegraphie ohne Draht).
Röntgen entdeckt (1895) die X Strahlen.

b) Für den chemischen Teil.

Beginn der alchemistischen Bestrebungen (aus unedlen Metallen Gold zu machen, den Stein der Weisen zu finden) im 1. Jahrhundert n. Chr. an der Akademie in Alexandrien. Durch die Araber breitete sich die Bewegung nach Spanien und Süditalien und von da nach Deutschland aus.
Peracelsus (1493—1541) stellt als Ziel der Chemie hin: nicht Gold zu machen, sondern Arzneien zu bereiten.
Boyle (1626—91) behandelt die Chemie zuerst als Wissenschaft. Nicht Gold oder Arzneien sind herzustellen, sondern es sollen Versuche gemacht und Beobachtungen gesammelt werden; keine Theorien sollen aufgestellt werden, ohne vorher die darauf bezügliche Erscheinung geprüft zu haben. Er hat die richtige Anschauung über Elemente, chemische Verbindungen und Gemenge. Anwendung von Pflanzensäften (Lackmus) zur Unterscheidung von Basen und Säuren und anderen Reagentien.
Stahl (1660—1734), Begründer der Phlogistontheorie: „Die Körper werden beim Verbrennen leichter, weil das Phlogiston aus ihnen entweicht."
Marggraf (1709—82) weist die Herstellung des Zuckers aus Rüben nach.
Lavoisier (1743—94) begründet die Verbrennungstheorie; er weist die Gewichtszunahme bei der Verbrennung und den Stoffwechsel zwischen Pflanzen und Tieren nach.
John Dalton (1766—1844) ist Begründer der neuen Atomtheorie; er stellt 1802 das Gesetz der multiplen Proportionen auf.
Davy (1778—1829) entdeckt Kalium, Natrium und Chlor und stellt die Sicherheitslampe her.
Berzelius (1779—1848) stellt ein chemisches Mineralsystem auf. Sein Hauptverdienst ist, die Schranken zwischen organischer und anorganischer Chemie beseitigt zu haben. Einführung des Lötrohrs in die chemische Analyse.
Mitscherlich (1794—1863) entdeckt die Isomorphie. (Chemisch verschiedene Körper haben gleiche Kristallgestalt.)
Liebig (1803—1873). Sein Hauptverdienst, auf die Bedeutung der Chemie für die Ernährung von Pflanzen und Tieren hingewiesen zu haben. 1840 „Die Chemie in ihrer Anwendung auf Agrikultur und Physiologie". 1847 „Chemische Briefe".
Wöhler (1800—1882) entdeckt 1827 das Aluminium und stellt 1828 den Harnstoff künstlich her; dadurch weist er nach, dafs zur Herstellung von organischen Verbindungen keine besondere Lebenskraft notwendig ist.
Pettenkofer (1818—1901). Schöpfer der modernen Hygiene (Ventilation, Kanalisation, Prüfung der hygienischen Bodenverhältnisse).
Hofmann, A. W. (1818—1892). Seine Arbeiten über Anilin sind von hervorragender Bedeutung für Herstellung wertvoller Farbstoffe.
Lothar Meyer und **Mendelejeff** stellen 1869 ein periodisches System der Elemente auf.

Register.

a) Für den physikalischen Teil.

(Die Zahlen geben die Seiten an.)